

Radiový **KONSTRUKTÉR** *Svazarmu*

Plánky a návody Amatérského radia



ROČNÍK II • 1956 • ČÍSLO 8

NAD JEDNÍM ROZEBRANÝM MĚŘIDLEM

Ono se řekne „upravit inkurantní měřidlo“! Přečteš si článek, že z vrakového měřidla se dá zhотовit docela užitečný měřicí přístroj, vzpmeneš si, že něco takového leží kdesi v krabici, jedno nedělní dopoledne praskne na hledání a odpoledne na rozoperování ubohého budíku. Což o to, vestavený odpor se ještě snadno vyjme a plechová ručka se také jednoduše odštípne. Ale je večer a měřidlo stále ještě leží amputované, v hluboké narkose, ba zdá se, že nastala klinická smrt. Neboť kam do těch jemných vlásků a ložiseček ztvrdlé chlapské prsty! A tu si vzpmeneš, jak žena tuhle šikovně vytáhla klukovi z dlaně zadřenou třísku a v tu chvíli svitne pacientovi přece jen naděje na další dlouhý život. Po troše přemlouvání nechá svetru a sedne s pincetou k oběti radioamatéra. Hoj, jak jen ty drobné prsty hrají, bez chvění zasunují šroubečky na pravé místo – slyš, holka, hodinář by to nedovedl lépe! – Je ráda – kdo by rád neslyšel chválu – a za těch pár slov uznání pomůže ochotně příště zase tam, kde nestačí ruka mužská. A když se na to tak díváš, podivíš se. Dívá se na tvého koníčka tak trochu svrchu – každý mužský je přece klukem až do osmdesátky –, ale už ví, že omega není megohm a když už si někdy nevíš rady, suše (a kupodivu, zcela správně) podotkne, že nemáš zapnutý proud. Vida, má porozumění, a když tak někdy v zápalu vyprávím o pikofaradech celý večer, vydrží to. Šikovné ruce taky má. A proč tedy, ptám se, je tak málo žen-amatérek, které by se zabývaly stavbou radiozařízení? Proč je na radioamatérských výstavách tak málo exponátů, pod nímž by byla cedulička s jménem, končícím na -ová?

Vždyť teď právě proběhlo několik krajských výstav a nedá se říci, že by oplývaly vystavateli. Svádět to na jiné založení ženské mentality by bylo dosti pohodlné a neopodstatněné. Vždy se často člověk přesvědčí, že ženy o radiotechniku také mají zájem. Spíš najdeme vysvětlení na kurzech radistek-operátorek, kde je vždycky před zkoušením radiotechniky velká hrůza. Neděláme si to přeci jenom my, mužští? Neděláme z té trochy počítání – ostatně většinou to je jen sečítání a násobení, tedy to, co obratně dělá každodenně každá žena při nákupu – a z té trochy kreslení – i to ženy dobře svedou, někdy lépe než mužští – a trochy šroubování a pájení – to jsme zrovna viděli při opravě měřidla – moc velkou vědu? Ono v tom bude jistě kus mužského Velkého Mysteria a když se sejdeme, mluvíme o svých záležitostech tak, že ze všeho číší sice nevyslovená, ale tvrdě dodržovaná zásada: Ženy s cestou, teď přicházejí ke slovu chlapi! Nedivme se, po mnoha staletí pěstovaná nadřazenost mužů nad ženami zanechává stopy dodnes jak v ženách, tak v mužích. A tak na jedné straně se díváme na ženy svrchu a na druhé straně voláme ženy do svých řad. Voláme, ale nepřesvědčivě – a proto je konstruktérka na výstavě bílou vranou. S těmi staršími to půjde těžko, ale musíme rychle změnit svůj postoj vůči mládeži, která není zatížena předsudky. Zavedení ručních prací na školách poskytuje svazarmovským radistům výbornou příležitost, podchytit zájem o techniku u děvčat včas. Přiblížíme-li jim techniku lidsky, ne mužsky, máme o příliv děvčat do Svazarmu a do radioamatérského hnutí v příštích letech bohatě postaráno.

VÝPOČET A KONSTRUKCE MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ

J. T. Hyan

Jak již bylo na stránkách tohoto časopisu několikrát řečeno, základem úspěšné amatérské práce jsou měřicí přístroje s dostatečnou přesností. Otázka měřidel vystavá před domácím pracovníkem tím více, čím složitější konstrukci se zabývá. Je sice pravdou, že mnohemu z nás se podařilo sestavit a zkonztruovat více či méně dobrých přijimačů či jiných přístrojů, a to jen s jednoduchými pomůckami či mnohdy jen s „cejchovaným šroubovákem“, přesto však potřeba dobrých měřidel je nepopiratelná.

Podmínkou úspěchu je tedy vlastnictví těch nejdůležitějších měřidel, (jako je ohmmetr, volt-ampérmetr a pod.), nebo možnost těchto přístrojů používat – na příklad v některé základní organizaci nebo radioklubu Svazarmu.

Je pochopitelné, že dílna radioamatéra je omezena finančními prostředky. Nebude tedy našim zájmem stavět zařízení drahá a úzce specialisovaná, ale zařízení běžná, s dostačující přesností $5 \div 10\%$ a pokud možno lehká a malých rozměrů. V následujícím budou uvedeny theoretické zásady běžných měřidel a probrána jejich konstrukce a výpočet.

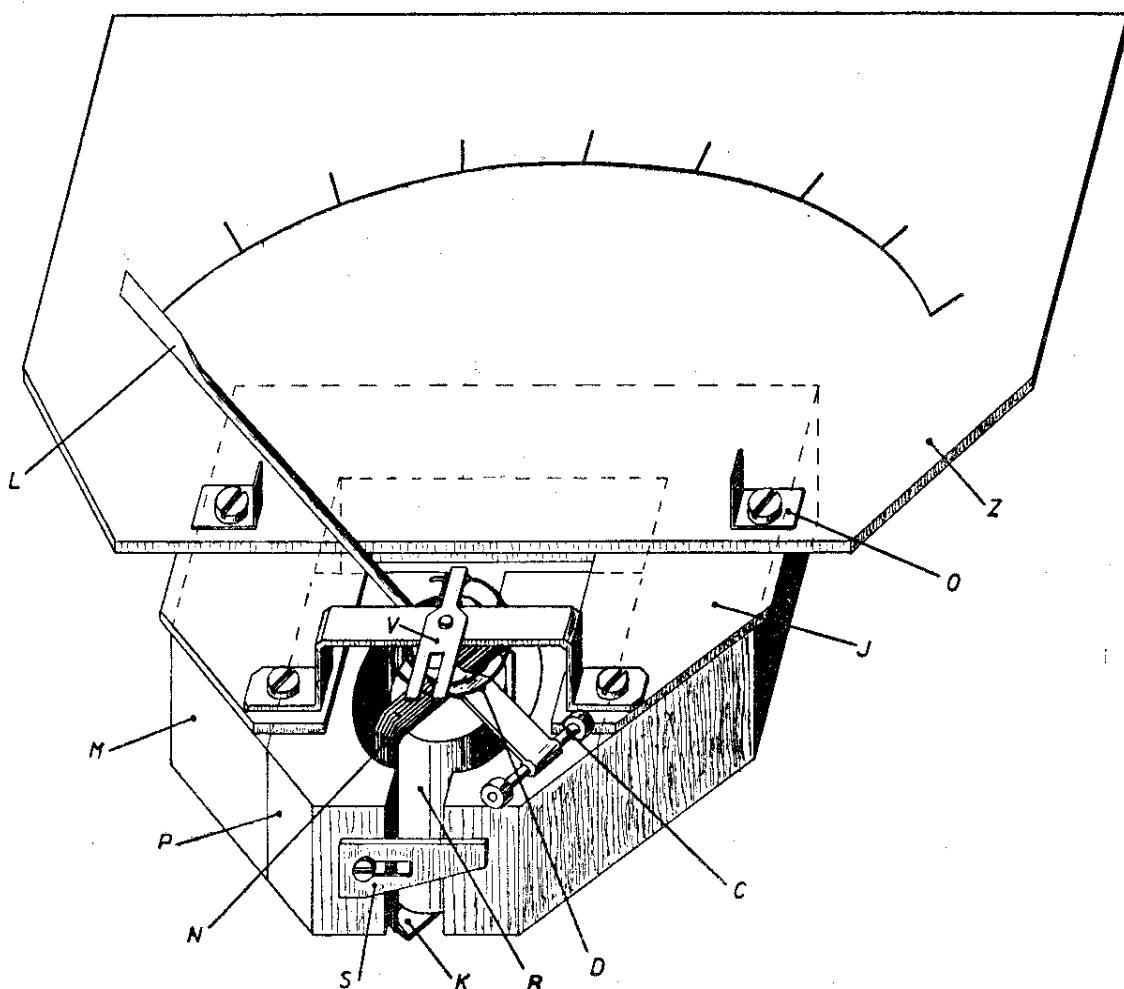
Základem dále popisovaných přístrojů budou měridla s otočnou cívkou, t. zv. Deprèz-d'Arsonval, jež využívají k měření elektrického proudu síly, která působí na vodič uložený napříč směru magnetického pole, ovšem jen tehdy, prochází-li tímto vodičem elektrický proud. Důležité však pro nás je to, že měřený proud je přímo úměrný výchylce ručky měridla, z čehož vyplývá, že stupnice přístroje je tedy rovnoměrná. Další vlastností přístroje s otočnou cívkou je, že udává i směr procházejícího proudu, t. j. polaritu. Proto též jsou vývody měridla označeny (+) a (-), abychom omylem nezaměnili přívody a eventuálně tak nedošlo k ohnutí či ulomení

jemné ručky. Měridlo tedy reaguje na změny proudu jak co do velikosti, tak i co do směru. Protože však celý systém je jednak tlumen (aby se zabránilo kývání ručky kol výsledné hodnoty), jednak vlastní setrvačností nestačí sledovat okamžité výchylky, zaznamenává při rychlých změnách velikost proudu jen střední hodnotu.

Z toho vyplývá, že se hodí jen pro měření stejnosměrného napětí či proudu, pro střídavé se dá použít jen s usměrňujícím doplňkem a dalšími vyrovnavacími členy (viz dále).

Abychom si udělali o tomto měridle správný názor, popíšeme si je podrobnejí. Na obr. 1 vidíme axonometrický pohled na měridlo. Mezi půlovými nastavci magnetu se pohybuje na kovovém rámečku cívka, tvořící vodič. Cívku probíhá hřídelík, který je na obou koncích uložen v ložiskách, obyčejně rubínových. Tato ložiska jsou nastavitelná, aby se dal seřídit správný tlak na oba hraty hřídelíku. Zavedeme-li tedy proud do cívky, vychýlí se tato do příslušné polohy. Proud do cívky přivádíme jemnými spirálkami, které také vracejí ručku po vypnutí proudu do nulové polohy. Spirálky jsou vinuty proti sobě, aby byla vykompensována tepelná roztaživost. Malé a levné přístroje mají nastavenou nulu jednou provždy polohou těchto spirálek. Přístroje dražší a přesnejší jsou obyčejně opatřeny nulovou korekcí. Horní spirálka je upravena tak, že se s ní dá v malých mezích pohybovat a tak nastavit ručku, kterou nese cívka, přesně na nulu. Kovový rámeček, který nese vinutí, tvoří závit nakrátko, indukuje se v něm při pohybu cívky napětí působící proti směru ručky a tak tvoří tlumení proti jejímu nežádanému kývání. Toto tlumení se též dá zvětšit připojením paralelního odporu k cívce přístroje, zmenší se nám však citlivost.

PROVEDENÍ MĚŘIDLA S OTOČNOU CIVKOU



Obr. 1.

L – Nožový ukazatel, M – magnet, P – pólové nástavce, N – vinutí cívky, S – magnetický bočník (nastavovatelný), K – hliníkový rámeček systému, B – nosný bubínek s ložisky a seřizovacím mechanismem. (Tímto mechanismem lze nastavit nejsprávnější tlak ložisek na hroty hřidelíků tak, aby ukazatel měl po celé své dráze plynulý chod). C – prodloužení ukazatele s vyvažovacími závažíčky, D – spirálka, V – regulace nulové polohy, J – nosná deska systému, Z – stupnice, O – krajní zarážky.

Ručka je tvořena jemným skleněným či silikonovým vláknem nebo lehkou hliníkovou trubičkou na jedné straně upravenou v nožový hrot. Na druhé straně je ručka vyvážena malými závažíčky (obyčejně je tvoří dvě matičky na dvou vybíhajících raménkách opatřených zá-

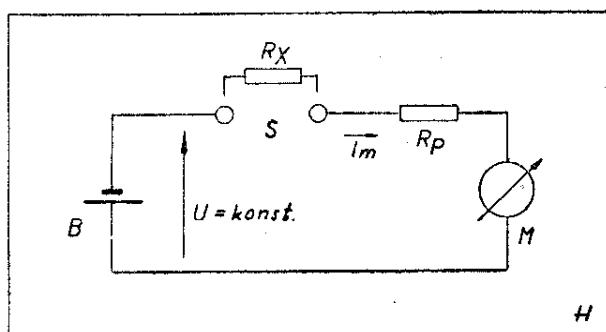
vity). Toto vyvážení je nutné, aby přístroj v jakémkoliv poloze ukazoval v klidu vždy na nulovou polohu. Vyvážení ručky je prováděno pro tu polohu, v které se pak bude hotového přístroje používat, a to buď pro polohu ležatou neb svislou. Na každém přístroji je na

stupnicí vyražena značka, pro kterou polohu je přístroj určen k montáži. Značky, s nimiž se u měřicích přístrojů setkáváme, jsou na obrázku na IV. str. obálky.

Pro přesnější odečítání jsou některé přístroje vybaveny zrcátkem. Při čtení výchylky ručky vidíme v zrcátku, které je umístěno pod stupnicí, odraz ukazatele, a tak vyloučujeme chybu, která by jinak vznikla paralaxou, t.j. šikmým pohledem. Dále si všimneme u magnetických nástavců malého železného plíšku. Tento plíšek je položen přes pólové nástavce tak, že zkratuje magnetické pole a tím snižuje citlivost přístroje. Tímto plíškem můžeme v malých mezích vyrovnávat citlivost přístroje. Uplatnění tohoto magnetického bočníku nacházíme jednak u ohmmetrů, kde jím vyrovňáme stárnutí baterie, jednak u samotných továrních přístrojů, u nichž po nějakém čase se projevila ztráta citlivosti vlivem použití nevystaralých magnetů. (Podle dosavadních zkušeností hotové magnety pro měřicí přístroje mají být skladovány před montáží a cejchováním až čtyři roky.)

Ohmmetry

Ohmmetry jsou přístroje, které s vestavěným zdrojem měří velikost odporů podle Ohmova zákona, a to jak odporů ohmických, tak i jalových. V praxi používáme ohmmetry většinou při měření ohmických odporů, kapacity měříme raději na nějakém můstku, což je značně přesnější, třebaže zdlouhavější. Rozlišujeme ohmmetry na napěťové, jichž používáme pro měření velkých odporů ($1 \text{ k}\Omega \div 1 \text{ M}\Omega$), a na ohmmetry prouarové, kterými měříme odpory malých hodnot ($10 \text{ }\Omega \div 1000 \text{ }\Omega$).



Obr. 2.

Napěťový ohmmetr

Na obr. 2 je schema napěťového ohmmetru. Jak vidíme, je celkem prosté. Skládá se ze zdroje elektrické energie B , svorek S pro připojení měřeného odporu Rx , předřadného odporu Rp a měřidla M . Odpor Rp ve spojení s měřidlem M představuje vlastně voltmetr, jehož celková výchylka je stejná nebo větší, než je používané napětí, které odebíráme z baterie B . Známe-li pak napětí baterie U a změříme-li proud protékající obvodem, I , měřidlem M , pak velikost neznámého odporu Rx je dána rovnicí

$$Rc = U/I$$

kde

$$Rc = Rx + Rp$$

Lze pak psát

$$\underline{\underline{Rx = \frac{U}{I} - Rp \quad [\text{V}, \text{A}, \Omega]}} \quad (1)$$

Je tedy podmínkou znalost předřadného odporu Rp včetně vnitřního odporu měřicí cívky a hlavně protékajícího proudu. Máme-li však na př. po ruce voltmetr, jehož hodnoty známe, lze zjistit velikost neznámého odporu trochu jiným způsobem. Přečteme nejprve výchylku voltmetru v_1 při zkratovaném odporu Rx spojením svorek S . Tuto si poznamenáme, pak zařadíme odpor Rx rozpojením svorek a opět si poznamenáme výchylku voltmetru v_2 . Výchylky na stupni pak jsou za předpokladu stálého napětí baterie v převráceném poměru odporů v obvodu. Můžeme tedy psát:

$$v_1 : v_2 = (Rx + Rp) : \frac{1}{Rp}$$

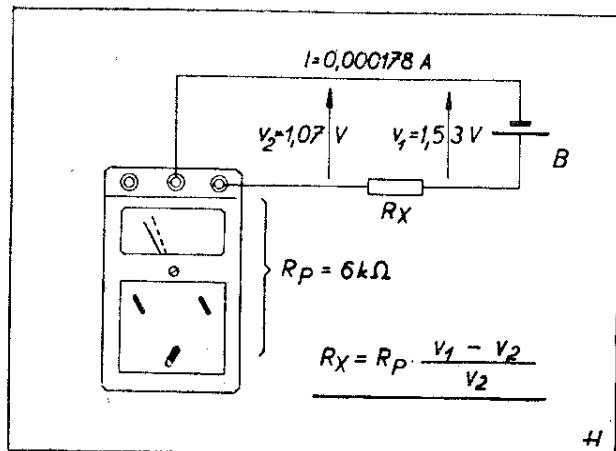
$$v_1 \cdot Rp = Rp \cdot v_2 + Rx \cdot v_2$$

$$Rp \cdot (v_1 - v_2) = Rx \cdot v_2$$

z čehož

$$\underline{\underline{Rx = Rp \cdot (v_1 - v_2) \cdot \frac{1}{v_2} \quad [\Omega, \text{V}]}} \quad (2)$$

Měření tedy v tomto druhém případě sestává ze dvou postupných odečtení a dosazení do vzorce. Důležité je, že stupnice měřidla, kde odečítáme výchylky, nemusí být cejchována v hodnotách skutečného napětí, stačí libovolné



Obr. 3.

hodnoty, nutné je však, aby byla rovnoměrná. Oba způsoby měření nám nejlépe ujasní příklad.

Máme na příklad k disposici měřicí přístroj zn. Avomet, jehož odpor je $1000 \Omega/V$, což znamená, že budeme-li měřit na rozsahu šestivoltovém (pochopitelně na stejnosměrném), je R_p roven šesti tisícům ohmů.

Jako zdroj nám poslouží jeden monochlánek o napětí přibližně 1,5 V. Měřený odpor zapojíme do obvodu s monochlánkem, jak je patrné z obr. 3 a zaznamenáme si výchylku. Činí 1,07 V. Též si přesně změříme napětí článku – v našem případě činí 1,53 V. Vzhledem k tomu, že celková výchylka Avometu odpovídá proudu 1 mA, odpovídá napětí 1,07 V průtoku proudu 0,000178 A. Nyní již zbývá dosadit do prvého vzorce a dostaneme hledanou hodnotu.

$$Rx = (1,53/0,000178) - 6000 \doteq 2600 \Omega$$

Překontrolujeme si vypočtenou hodnotu druhým způsobem, t. j. dosadíme do druhého vzorce, (aniž bychom se starali, jaký proud nám při měření přístrojem protékal) a opět obdržíme:

$$Rx = 6000 \cdot \left(\frac{1,53 - 1,07}{1,07} \right) \doteq 2600 \Omega,$$

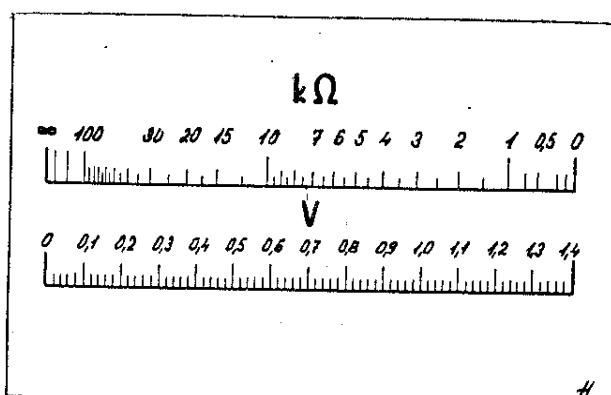
Přesnost tohoto měření záleží hlavně na přesnosti odečítání.

Pochopitelně nebudeme provádět měření výše uvedeným způsobem. Tak se provádí jen v nouzi, není-li po ruce ocejchovaný ohmmetr. Výše uvedené slouží k tomu, abychom podle výchylky

ručky v kterémkoliv bodě voltmetru (či miliampérmetru) si uměli spočítat odpovídající velikost odporu, což potřebujeme právě pro cejchování a pro přehled, jak vlastně stupnice ohmmetu bude vypadat. Zjistíme, že její průběh v rozmezí dvou dekád se velmi blíží logaritmickému průběhu, s nímž splývá velmi přesně v okolí středu stupnice. Důsledek tohoto průběhu je ten, že rozsah je poměrně velký a dovoluje odečítat se stálou poměrnou chybou. Na obr. 4 je vynesena stupnice ohmmetu v porovnání se stupnicí voltmetru.

Jak je patrné z průběhu stupnice, je rozsah ohmmetu $0,1 \div 10 Rx$. Uvážíme-li, že výchylka v_1 se volí tak, aby byla celou výchylkou měřidla, pak vyplývá z jednoduché úvahy, že R_p bude roven právě $Rx \cdot 1$, t. j. hodnota předřadného odporu bude rovna právě té, již měřidlo ukáže při polovině plné výchylky. Zdroj pak bude muset mít napětí rovné podle Ohmova zákona $R_p \cdot Im$, při čemž Im je proud, protékající měřidlem pro plnou výchylku, a R_p je předřadný odpor včetně vnitřního odporu cívky měřicího přístroje. Dále je nutno uvést tu okolnost, že průběh stupnice nezávisí na rozsahu, takže budeme-li u vícerozsahového ohmmetu měnit rozsahy o celistvé desítkové násobitele, bude platit stále tatáž stupnice.

Chceme-li užívat ohmmetu se stupnicí ocejchovanou v ohmech pro přímé čtení, pak předpokladem správného měření je, aby napětí bylo stálé. Ze zkušenosti však víme, že napětí baterie časem klesá nebo kolísá. Tu pak máme možnost vyrovnat pokles napětí baterie odklo-



Obr. 4.

něním magnetického bočníku měřidla, čímž se příslušně zvýší citlivost přístroje, t. j. výchylka, takže po vyregulování při svorkách S sepnutých nakrátko musí ručka měřidla ukazovat na nulu. Pakliže baterie již natolik zestárne, že ani tímto zásahem se nám nepodaří vyregulovat nulu, tu nezbude nic jiného, než nahradit baterii novou, jinak bychom se dopustili při dalším měření hrubých chyb. Proto před každým měřením budiž prvním úkonem překontrolování a korekce nuly.

Korekce nuly se též provádí vestavěným potenciometrem, zařazeným do série s baterií a vlastním předřadným odporem R_p . Změnami velikosti tohoto potenciometru (jenž je vlastně zapojen jako reostat) vyrovnanáme pak pokles napětí baterie. Výpočet průběhu stupnice ohmmetu však provádíme pro napětí daleko nižší, než jaké máme k disposici z použité baterie. To má za následek, že zmenšujeme základní rozsah, neboť pracujeme s napětím asi o 30 % nižším. Pro tuto nevýhodu byl též v dále popisované konstrukci volen bočník magnetický, který nemá tak veliký vliv na základní rozsah.

Korekce nuly potenciometrem se provádí hlavně u sdružených měřidel, kde měřidlo mimo funkce ohmmetu využíváme též pro jiná měření, třeba jako voltmetru, ať již stejnosměrného nebo střídavého. Hlavním důvodem pro to je, že magnetický bočník ovlivňuje citlivost celého přístroje, která se mění s polohou magnetického bočníku, a tak při přepnutí pro jiné měření nebylo by lze zaručit správný průběh stupnice. Je-li však obvod ohmmetu s regulujícím potenciometrem jen „navěšen“ na měřidlo, pak tato nejistota mizí a měřidlem můžeme měřit bez obavy, že citlivost a tím i výchylka měřidla je nesprávná (vzhledem k ocejchování). S touto úpravou se též setkáme dále u universálního voltampér-ohmmetu.

Praktické provedení napěťového ohmmetu

Z potřeby malého a lehce přenosného přístroje vyplýnula následující konstrukce kapesního ohmmetu. Jako vlastního měřidla bylo použito citlivého inkurantního mikroampérmetru o plné výchylce

rovné $250 \mu A$. Provedení ohmmetu je celkem jednoduchou záležitostí, konstrukční podrobnosti přístroje jsou dosti jasné patrné z připojených fotografií.

Výprodejní měřidlo v bakelitovém pouzdře má $\varnothing 36$ mm. Tím pochopitelně byla dáná velikost stupnice a délka ručky. Protože však chceme mít ohmmetr pokud možno s největší stupnicí, použijeme z přístroje jen samotného měřicího systému, který vestavíme do většího pouzdra. Tímto zásahem pak můžeme použít větší stupnice, přibude nám však navíc dosti chouloustivá montáž nové delší ručky a její vyvažování. I kdybychom nechtěli zvětšovat stupnici (při použití výprodejního měřidla o dosti velkém průměru), stejně se výměně ručky nevyhneme, neboť inkurantní měřidla i o poměrně velké citlivosti byla vybavována ručkou ve tvaru kopí, tedy dosti širokým ukazatelem, znesnadňujícím přesné čtení. Nám se však jedná o to, abychom mohli dobře odhadovat i jednotlivé části dílků stupnice, a to se nám podaří jen za použití tenké nožové ručky.

Při konstrukci nového ukazatele nesmíme zapomínat na váhu použitého materiálu. S přibývající váhou se totiž zvětšuje moment setrvačnosti a tím i nežádané kývání ručky. Proto se snažíme o dosažení co nejmenší váhy a tím je tedy dáná konstrukce ukazatele. U továrních přístrojů je nejčastěji proveden z duté hliníkové trubičky na konci zploštělé. Vzhledem k tomu, že tento materiál pro amatérské účely není lehce dostupný, sáhli jsme po materiálu jiném, a to po silikonovém vláknu. Tato vlákna získáme celkem jednoduše z některých vánočních ozdob, jichž je všude dostatek. Protože tato vlákna jsou velmi tenká, použijeme jich několik – asi 5 až 10. Abychom z nich vytvořili jedený celek, slepíme je namočením do acetonového laku. Potom protáhnutím mezi prsty odstraníme přebytečný lak a zároveň tím dáme nyní již jednomu vláknu nožovitý tvar. Barvu acetonového laku volíme červenou nebo černou, aby tím ukazatel více vynikl proti bílé stupnici. Starou ručku opatrně ustříhneme ostrými nůžkami těsně před místem jejího upevnění a na takto vzniklý pahýl při-

pevníme novou ručku zakápnutím rychle schnoucím acetonovým lakem. Protože nový ukazatel se bude váhově lišit od starého, (ručka ze silikonových vláken, třebaže delší, byla v našem případě lehčí staré), musíme se ještě postarat o rádné vyvážení. Proti ručce na druhé straně je krátké raménko (jedno nebo dvě), které tvoří protiváhu buď matičkami nebo u levnějších přístrojů jen kapkami cínu. V popisovaném případě byla protiváha vytvořena jen kapkami cínu, které bylo nutno opatrnlým pájením zmenšit.

Při všech těchto operacích se doporučuje co největší opatrnost a hlavně trpělivost. Pohyblivý systém měřidla je totiž po stránce mechanické velmi jemnou záležitostí a tak je možno při nedostatku pozornosti vyhodit cívku z ložisek nebo jinak ji poškodit. Přesto však není žádáno od čtenářů nemožné, a jak fotografie ukazují, zdařila se tato operace docela zdárнě.

A nyní k vlastní konstrukci ohmmetu. Použití měřidla o výchylce 250 μ A, a napájecí baterie, tvořené jednou polovicí kulaté baterie, tedy jedním článkem o napětí 1,5 voltu, určuje celkový rozsah měřidla. Předřadný odpor zjistíme jednoduchým počtem z Ohmova zákona podle rovnice:

$$R_p = U_i / I_m \quad [\Omega, V, A] \quad (3)$$

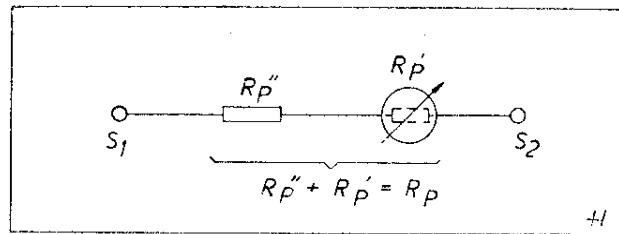
kde R_p je hledaná hodnota předřadného odporu včetně odporu cívky měřidla, U_i je napětí baterie 1,5 V. (Pokles napětí vyrovňáváme magnetickým bočníkem.) I_m je proud měřidla, který protéká při plné výchylce. Po dosazení obdržíme, že $R_p = 6000 \Omega$. Po odečtení odporu cívky dostáváme:

$$R_p'' = R_p - R_p' = 6000 - 750 = \\ = 5250 \Omega$$

kde R_p' je hodnota vnitřního odporu cívky a R_p'' hodnota předřadného odporu (viz obr. 5).

Abychom si nyní mohli znázornit průběh stupnice, postupujeme podle rovnice (2), kterou převádíme na následující tvar:

$$Rx = R_p \cdot \frac{v_1}{v_2} - R_p \quad [\Omega, V] \quad (4a)$$



Obr. 5.

Po dosazení daných hodnot se nám rovnice zjednoduší do tvaru:

$$Rx = (9,0/v_2) - 6,0 \quad [k\Omega, V]$$

Rozdělíme-li nyní stupnici po desetinách voltu a dosadíme za v_2 odpovídající výchylky, pak obdržíme průběh, který je patrný z dálé uvedené tabulky.

v_2 -V	Rx -k Ω	v_2 -V	Rx -k Ω
1,5	0,00	0,7	6,85
1,4	0,42	0,6	9,00
1,3	0,93	0,5	12,00
1,2	1,50	0,4	16,50
1,1	2,18	0,3	24,00
1,0	3,00	0,2	39,00
0,9	4,00	0,1	84,00
0,8	5,25	0,0	∞

Vidíme tedy, že nula leží na pravé straně a nikoliv na levé, jak tomu obyčejně bývá. Dalším poznatkem z uvedeného je to, že jsme obdrželi k celým hodnotám v_2 hodnoty Rx neucelené, které pro konečnou stupnici nám nejsou mnoho platné. Proto budeme nyní postupovat opačně, a to tak, že pro volené Rx budeme hledat odpovídající výchylku v_2 , která se pak snadno vynese na stupnici. Postupujeme opět podle rovnice (2) upravené na tvar:

$$v_2 = \frac{R_p \cdot v_1}{Rx + R_p} \quad [\Omega, V] \quad (4b)$$

která se po dosazení zjednoduší na výraz:

$$v_2 = \frac{9,0}{Rx + 6,0} \quad [k\Omega, V]$$

Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

$v_2 - V$	$Rx - k\Omega$	$v_2 - V$	$Rx - k\Omega$
1,5	0,0	0,50	12,0
1,475	0,1	0,428	15,0
1,45	0,2	0,391	17,0
1,385	0,5	0,346	20,0
1,362	0,6	0,250	30,0
1,342	0,7	0,1955	40,0
1,285	1,0	0,1605	50,0
1,20	1,5	0,1362	60,0
1,125	2,0	0,1185	70,0
1,00	3,0	0,0850	100,0
0,90	4,0	0,0437	200,0
0,818	5,0	0,0178	500,0
0,75	6,0	0,0000	∞
0,693	7,0		
0,562	10,0		

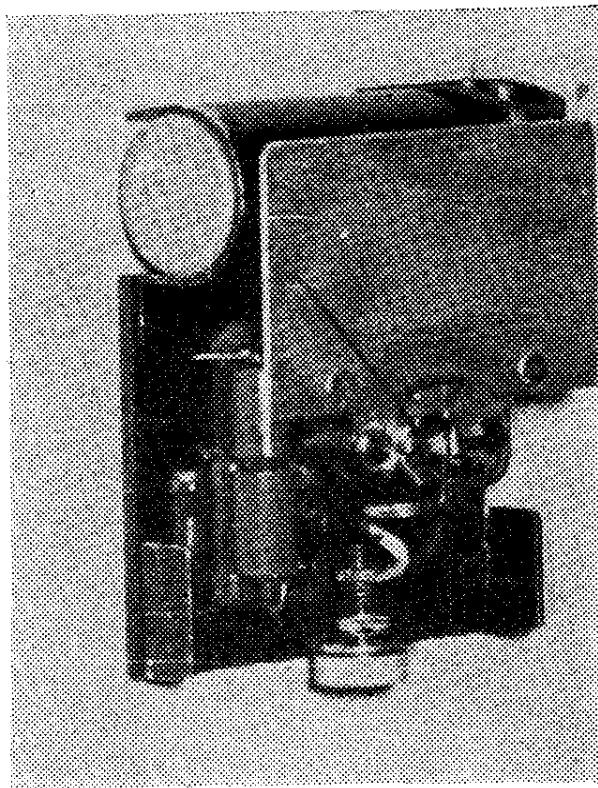
Podle těchto vypočítaných hodnot již vynášíme stupnici na větší čtvrtku kladívkového papíru, vytáhneme tuší, popíšeme šablonku a potom osfotografujeme. Ve zvětšovacím přístroji si nařídíme žádanou velikost, při čemž použijeme nejtvrdší papír, aby písmo a stupnice byly kontrastní.

Je nutno říci ještě několik slov o magnetickém bočníku. Z měřidla odmontujeme původní vyrovnávací plíšek, který je přišroubován na jednom půlovém nástavci. Magnetický bočník vytvoříme z malého kousku páskového železa, které připevníme na hřidélku opatřenou na jednom konci závitem. Tuto hřidélku uložíme do ložiska získaného ze starého potenciometru. Toto ložisko připevníme malým úhelníčkem k základní novotexové destičce, která nese veškeré příslušenství ohmmetru. Detail magnetického bočníku a rozmištění součástí je patrné z obr. 6.

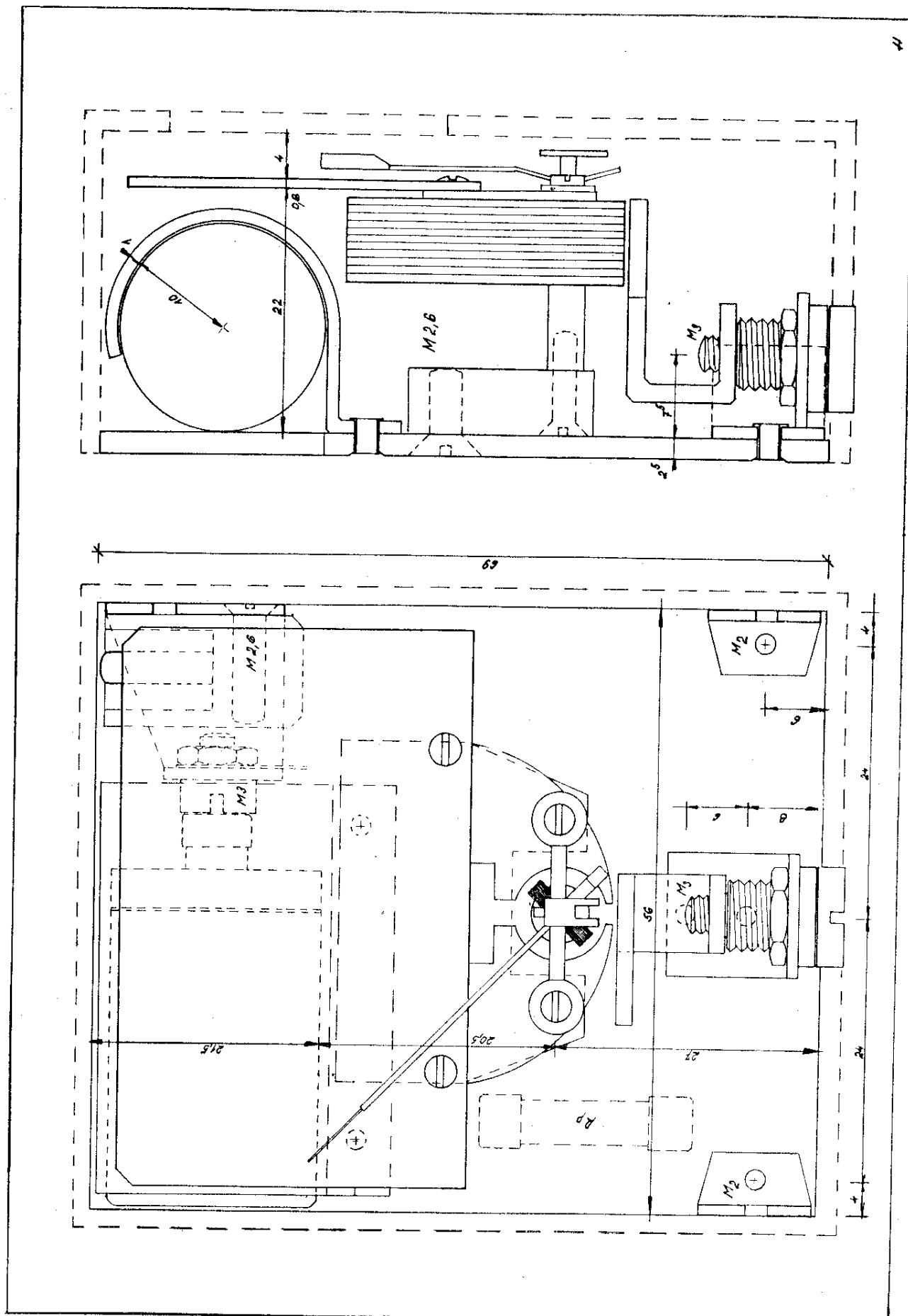
Celý přístroj včetně baterie je uložen v malé trolitulové skřínce, která je seříznuta na menší hloubku. (Tyto skřínky jsou ještě nyní ke koupi v radiotechnické prodejně Pražského obchodu potřebami pro domácnost v Praze 2, Žitná ulice.) Celkové provedení je patrné z fotografie. Velikost hotového přístroje je $74 \times 62 \times 32$ mm, což dokazuje, že je opravdu přístrojem kapesním, aniž by tím trpěla čitelnost stupnice, která i při

malých rozměrech je co největší. Skřínu nastříkáme pro lepší vzhled černým „duko“ lakem. Měřicí přístroj je možné vybudovat nezávisle na druhu skřínek, které jsou na trhu a udělat si skřínu nejvhodnějších rozměrů. Nejvhodnějším materiélem pro naše účely bude 4 mm silná překližka.

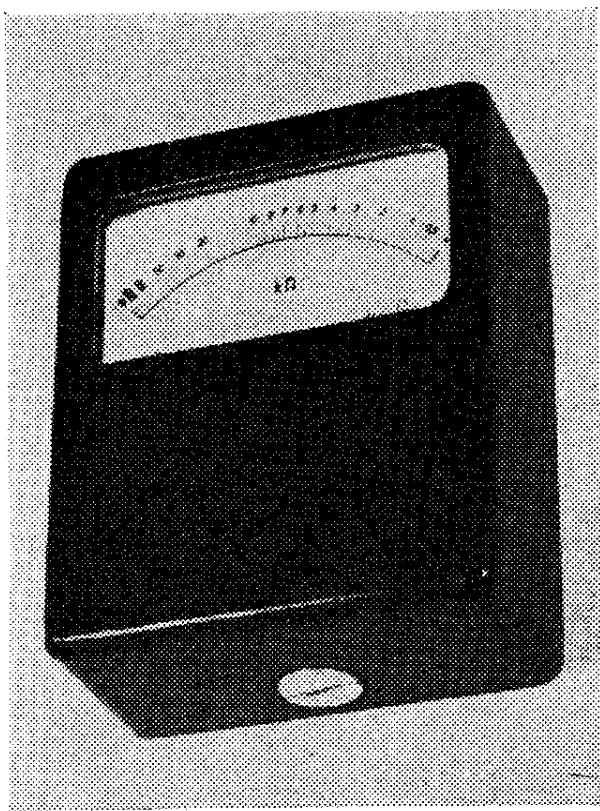
Pozorný čtenář již jistě z předchozího zjistil, že chceme-li navrhnut ohmmetr pro měření odporů hodnot řádu megaohmů, musíme použít měridla co nejcitlivějšího (n.p. Metra Blansko vyrábí dokonce měridla o výchylce $10 \mu A$) anebo, což je obvyklejší a pohodlnější, použít zdroje o vyšším napětí. Tak u zahradních přenosných měřidel se setkáváme s vestavěnou vysokovoltovou baterií (u nás by se dalo použít některého druhu z miniaturních destičkových anodových baterií), nebo s přístroji vybavenými buď vibrátorem nebo indukčním přístrojem, poháněným mechanicky. U přístrojů stacionárních nám pochopitelně nečiní obtíží získat vyšší stejnosměrné napětí. Základem je



Pohled na popisovaný ohmmetr. Dole hlavice magnetického bočníku.



Obr. 6.



Hotový přístroj kapesního formátu.

transformátor, který transformuje síťové napětí na žádanou hodnotu. Usměrnění obstarává obvyklá usměrňovací elektronka nebo selenové desky. Pro úplnost je nutno uvést, že nyní se též používá elektronkových voltmetrů jako vysokoohmových měřidel. Elektronkový voltmetr má totiž vysoký vstupní odpor a pro plnou výchylku potřebuje napětí, které stačí dodávat obvyklá kapesní baterie. Těmito megaohmmetry je pak možno

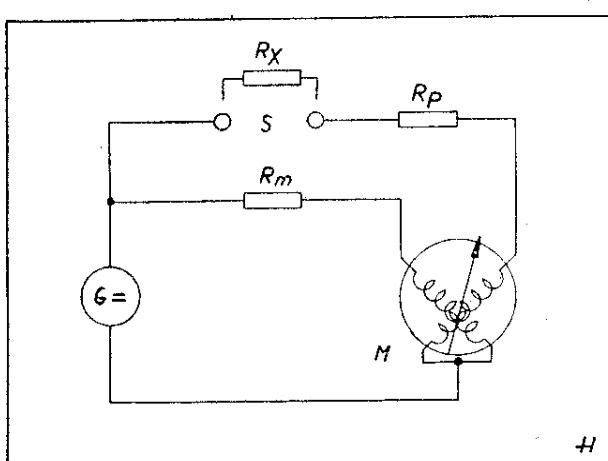
měřit odpory až do pěti tisíc megaohmů.

Nejčastěji megaohmmetry používají jako zdroje induktoru. Induktor dává napětí podle druhu přístroje od jednoho sta voltů až do tisíce voltů. Jeden takový megaohmmetr zahraničního provedení vidíme na dále uvedené fotografii. U starších provedení těchto přístrojů bylo důležité, aby induktor dodával stálé napětí. To však znamenalo, že obsluhující musel otáčet kličkou, pohánějící induktor ozubeným převodem, pokud možno stejnými otáčkami, což vždy nebylo zvláště výhodné. Novější přístroje, jejichž zapojení je na obr. 7, nevyžadují již přesných otáček a postačí točit induktorem jen přibližně správně.

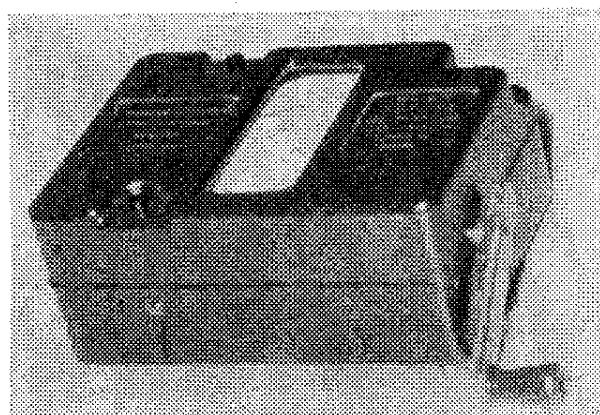
Jak vidíme na schématu, měřidlo má dvě cívky mechanicky spojené. Jednou cívko jde proud přes předřadný odpor R_m a druhou cívko přes obvyklý odpor R_p a měřený odpor R_x . Zapojení je takové, že točivé momenty, vznikající průtokem obou proudů, působí proti sobě. Oba točivé momenty jsou úměrné napětí induktoru, takže malé odchylky otáček se bezpečně kompensují a nemají vliv na výchylku ukazatele.

Proudový ohmmetr

Na obr. 8 je schema proudového ohmmetru. Je opět celkem jednoduché; skládá se ze zdroje elektrické energie B , měřidla M , svorek S pro připojení měřeného odporu R_x a předřadného odporu R_p . Na rozdíl od napěťového ohmmetru připojuje se neznámý odpor paralelně



Obr. 7.

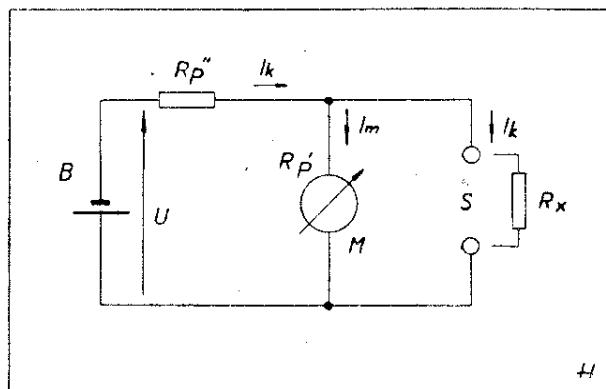


Zahraniční megaohmmetr napájený induktorem.

k měřidlu a nikoliv do série. Z toho vyplývá, že jestliže v předešlém případě při konstantním napětí protékal odporem R_p proud nepřímo úměrný velikosti odporu R_x , v tomto případě protéká odporem R_p' proud konstantní (platí za toho předpokladu, že hodnota R_p je řádově daleko větší než R_p' , takže připojení malého R_x neporušuje rovnováhu v tomto obvodě). Princip proudového ohmmetu je tento: Protože předřadným odporem R_p protéká konstantní proud I_k , protéká tentýž proud měřidlem, není-li připojen k svorkám S odpor R_x . Velikost odporu R_p volíme podle hodnot měřidla takovou, aby při určitém proudu I_k měřidlo ukázalo právě plnou výchylku v_1 . Připojením odporu R_x protéká předřadným odporem R_p stále proud I_k , který se však nyní rozdělí mezi měřidlo a odpor R_x , a to nepřímo úměrně k jejich odporům. Pochopitelně, že měřidlo neukazuje žádný proud, je-li hodnota R_x nulová. Protéká-li tedy měřidlem proud I_m a měřeným odporem proud I_x , pak můžeme výše uvedené vyjádřit rovnicí:

$$\frac{I_m}{I_x} = \frac{R_x}{R_p'}$$

kde R_p' znamená vnitřní odpor měřidla. Protože však platí:



Obr. 8.

$$I_k = I_m + I_x$$

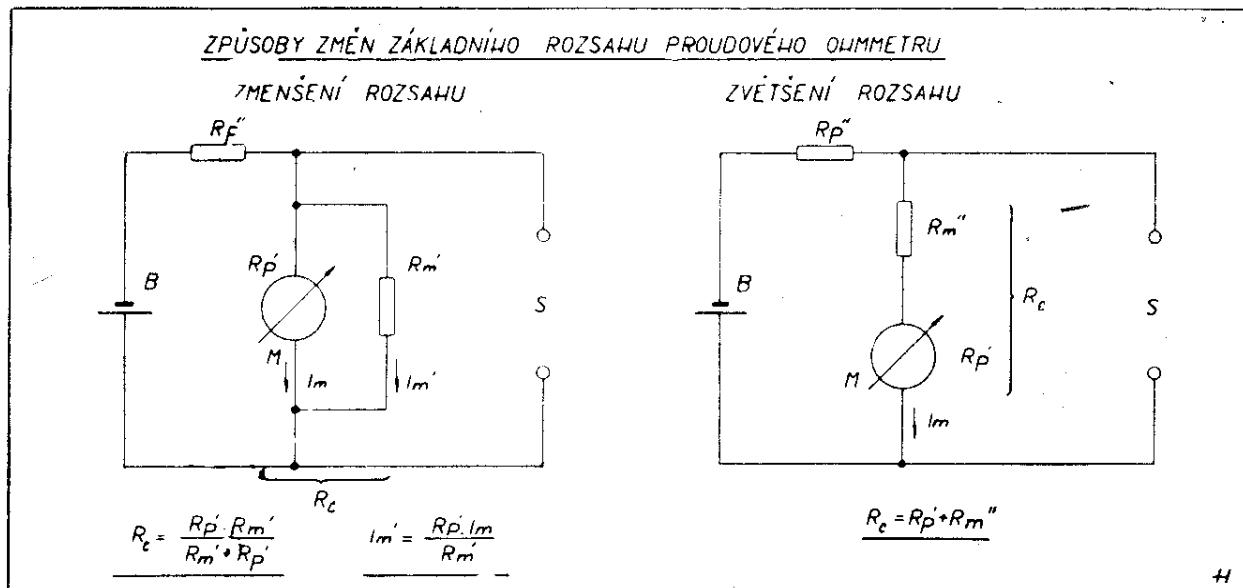
můžeme tedy psát:

$$\begin{aligned} \frac{I_m}{I_k} &= \frac{R_x}{R_x + R_p'} = \frac{v_2}{v_1} \\ R_x \cdot v_1 &= v_2 R_x + v_2 \cdot R_p' \\ R_x \cdot v_1 - R_x \cdot v_2 &= R_p' \cdot v_2 \\ R_x \cdot (v_1 - v_2) &= R_p' \cdot v_2 \end{aligned}$$

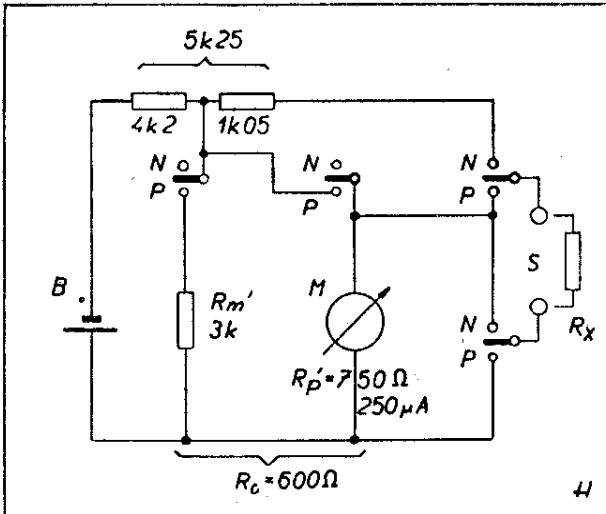
a odtud

$$R_x = R_p' \cdot \frac{v_2}{v_1 - v_2} \quad [\Omega; V] \quad (5)$$

U proudového ohmmetu tedy porovnáváme neznámý odpor R_x s odporem měřidla, který je poměrně malý. Zpravidla se R_p' pohybuje kolem hodnoty



Obr. 9.



Obr. 10.

100 ohmů. Nízká hodnota vnitřního odporu měřidla pak sama určuje ve většině případů rozsah proudového ohmmetru, ačkoliv celkový odpor R_p' je možno snížit přidáním paralelního odporu nebo zvýšit použitím předřadného odporu. Oba způsoby jsou znázorněny na obr. 9 a budou v dálce uvedeném příkladě vyšvětleny. Uprostřed stupnice proudového ohmmetru je tedy opět dílek pro R_x rovný R_p' , na prvé a poslední desetině výchylky je taktéž zhruba hodnota pro $0,1 R_p'$ a $10 R_p'$. Průběh stupnice je však opačný než u napěťového ohmmetru, což znamená, že nula je nyní vlevo a hodnota pro nekonečno vpravo.

Tak kdybychom chtěli rozšířit dříve popisovaný napěťový ohmmetr směrem dolů (pro měření menších odporů), pak pomocí přepinače by bylo nutno jej zapojit jako proudový ohmmetr. Na obr. 10 vidíme zapojení se všemi hodnotami. Protože však odpor měřidla činí 750 ohmů a my chceme použít stejné stupnice, snížíme přidáním paralelního odporu celkový odpor na hodnotu 600 ohmů. Tato hodnota pak bude uprostřed stupnice, rozsah měření bude 60 — 6000 ohmů. Budou tedy platit všechny body napěťové stupnice násobené koeficientem 0,1, naproti tomu stupniči bude nutno vynést opačným směrem než napěťovou. Příklad průběhu stupnic podobného napěťového a proudového ohmmetru je na obr. 11.

Hodnotu přídavného paralelního od-

poru R_m' , upravujícího celkový odpor a tím i výchylku měřidla, vypočítáme podle rovnice:

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_p'} + \frac{1}{R_m'} \quad [\Omega]$$

kde R_c je žádaná hodnota, v našem případě 600 ohmů. Po dosazení a úpravě obdržíme

$$R_m' = \frac{R_c \cdot R_p'}{R_p' - R_c} \quad [\Omega] \quad (6)$$

$$R_m' = \frac{450\,000}{150} = 3000 \Omega$$

Nyní však musíme ještě zjistit proud I_m' , který prochází přidaným bočníkem. Zjistíme jej ze vztahu:

$$I_m' = \frac{R_p' \cdot I_m}{R_m'} \quad [\Omega, A] \quad (7)$$

a po dosazení obdržíme:

$$I_m' = \frac{750 \cdot 0,00025}{3000} = 0,0000625 A.$$

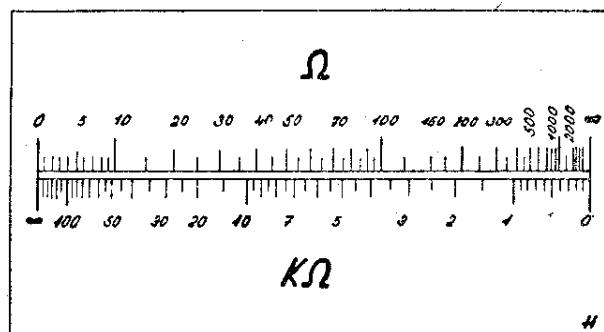
Protože však $I_m' + I_m = I_k$ (bez připojeného odporu R_x), zmenší se hodnota odporu R_p . Tuto velikost dále určíme a provedeme odbočkou na předřadném odporu R_p nebo jej složíme ze dvou.

$$I_m' + I_m = 0,00025 + 0,0000625 = \\ = 0,0003125 A = I_k$$

$$R_p = U : I_k = 1,5 : 0,0003125 = \\ = 4800 \Omega,$$

což je však včetně odporu měřidla, tedy včetně $R_c = 600 \Omega$. Bude tedy hodnota odporu, na kterém provedeme odbočku:

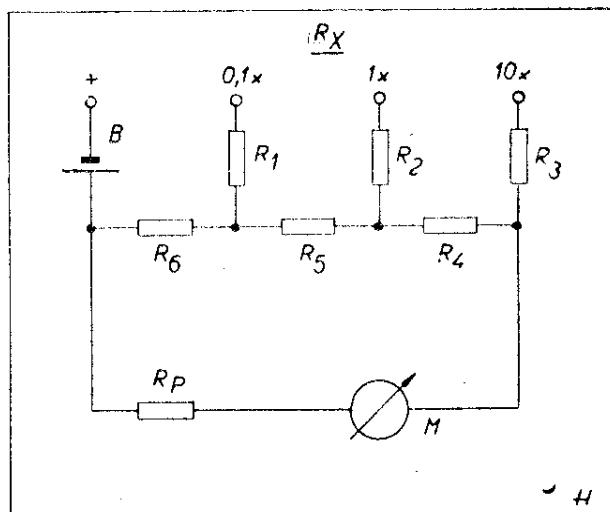
$$4800 - 600 = 4200 \Omega$$



Obr. 11.

Protože hodnota odporu R_p má být několikanásobně větší než hodnota odporu měřidla R_p' (asi $100\times$), což zde není splněno, bylo by měření takovýmto proudovým ohmmetrem na straně malých odporů již méně přesné. (Není totiž splněna podmínka konstantního proudu I_k .) V tomto případě by chyby v měření odstranila individuálně cejchovaná stupnice (anebo použití vyššího napětí U , čímž by se pochopitelně zvětšil i R_p .) Případ byl volen pouze proto, aby na něm byl ukázán postup výpočtu.

Jak z uvedeného vyplývá, není vždy šťastnou konstrukcí kombinovat proudový ohmmetr s napěťovým při malém napětí U . Je proto nejlépe navrhnout ohmmetr jen jednoho druhu, a to spíše napěťový. U tohoto ohmmetru se naskytá možnost pomocí vhodného děliče měřit odpory ve vhodně velkém rozsahu. Dělič je navržen tak, že platí stále jedna stupnice, ale údaje se násobí buď $1\times$ nebo $10\times$ či dokonce $100\times$. Schema takového ohmmetru je na obr. 12. Podobný výrobek n. p. Metra Blansko ukazuje připojená fotografie.



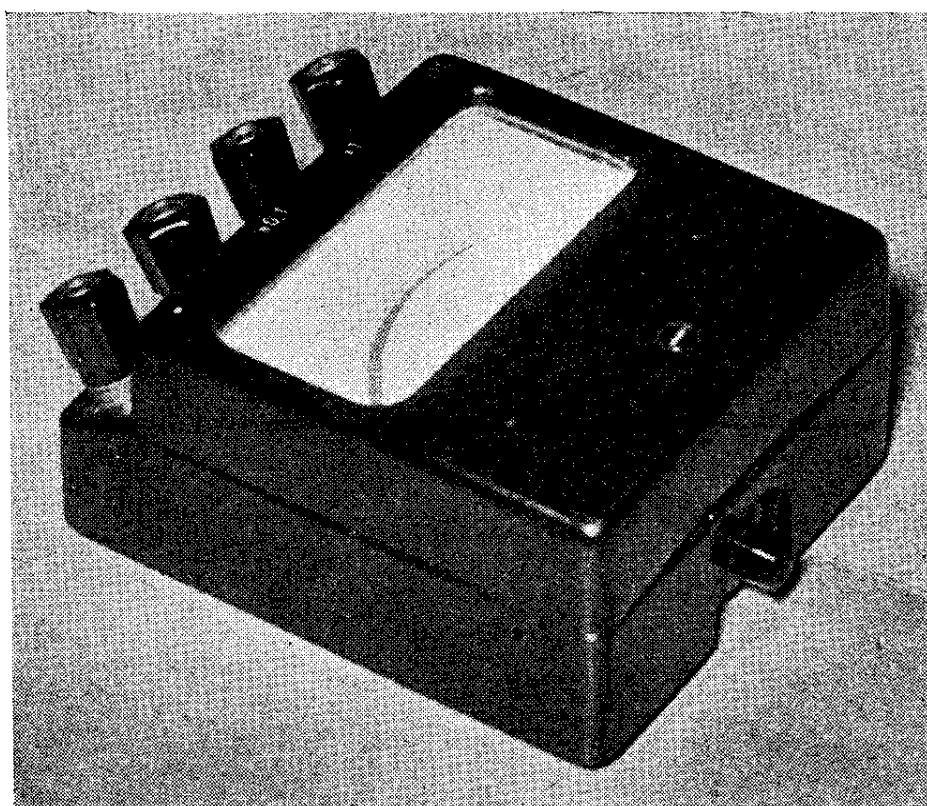
Obr. 12.

Měřidla stejnosměrného napětí – voltmetry

Před jakýmkoliv použitím nějakého měřidla je vždy nutné znát jeho základní hodnoty, a to výchylku v ampérech I_m , ve voltech U_m a vnitřní odpor R_p' . Tyto tři veličiny závisí na sobě podle Ohmova zákona, jenž zní:

$$Um = Im \cdot R_p' [\text{V}, \text{A}, \Omega]$$

takže známe-li dvě veličiny, můžeme snadno určit zbývající. Známe-li však hodnotu jen jednu, nebo dokonce žádnou, pak zapojíme zkoušené měřidlo M do série s citlivým miliampérmetrem (mA) podle obr. 13. Potenciometr R_p nařídíme na největší odpor a pak pomalu jeho velikost zmenšíme otáčením běžce, až nám ukáže zkoušené měřidlo plnou výchylku. Na cejchovaném miliampérmetru odečteme hledaný proud Im . Vnitřní odpor měřidla (R_p') zjistíme tak, že odpojíme měřidlo a zapneme místo něho



Kombinovaný ohmmetr továrního provedení.

potenciometr R_b . Nyní měníme jeho velikost tak dlouho, až cejchovaný miliampérmetr ukáže stejnou výchylku jako při předešlém úkonu. Pak je tedy hodnota nastaveného odporu R_b stejná jako hodnota vnitřního odporu měřidla R_p' . Velikost odporu R_b změříme pak nejlépe na nějakém přesném můstku. Rozhodně se nedoporučuje měřit vnitřní odpor měřidla přímo, t. j. připojením ohmmetru k jeho svorkám, neboť jak víme z předešlých statí, je pod napětím. V případě, že bychom tak učinili, mohlo by toto měřidlo utrpět velkým proudem ohmmetu. Poslední hodnotu, t. j. výchylku ve voltech U_m , můžeme zjistit tak, že při stejném zapojení připneme ke zkoušenému přístroji paralelně milivoltmetr, nebo si můžeme U_m vypočítat podle výše uvedené rovnice.

Známe-li již základní hodnoty, můžeme postupovat dále. Podle rovnice (6) a (7) jsme již zjistili, jakým způsobem můžeme upravit vnitřní odpor měřidla na okrouhlou hodnotu připojením předřadného odporu R_m'' , nebo jak velký má být paralelní bočník k danému měřidlu, aby bylo dosáhlo větší výchylky $I_k = I_m + I_m'$. Tyto vztahy užijeme později při návrhu ampérmetru. Pro voltmetr nás nyní spíše zajímá, jakým způsobem vypočteme předřadné odpory pro jednotlivé rozsahy.

Známe-li tedy základní výchylku měřidla v milivoltech a jeho vnitřní odpor, pak jednoduchou úměrou zjistíme veli-

kost předřadného odporu R_p'' , kterým upravíme měřidlo na žádaný rozsah U_i . Tato úměra vyplývá ze vztahu, že výchylka měřidla má se k vnitřnímu odporu, jako se má celkový předřadný odpor R_p k napětí žádaného rozsahu. Vyjádřena rovnicí zní:

$$U_m : R_p' = U_i : R_p,$$

z čehož po úpravě obdržíme

$$R_p = \frac{U_i \cdot R_p'}{U_m}.$$

Jak však již víme z předešlého, R_p se skládá ze dvou hodnot, a to R_p'' a R_p' (viz obr. 5), z nichž nás zajímá nejvíce R_p'' , která tvoří vlastní předřadný bočník. Po dosazení obdržíme konečný vztah s obecnou platností:

$$R_p'' = \frac{U}{I_m} - R_p' \quad [\Omega, V, A].$$

Pro porovnávání citlivosti, respektive přesnosti voltmetrů, je obvyklé vyjadřovat odpor voltmetru R_v na jeden volt. Zjistíme ho ze vztahu

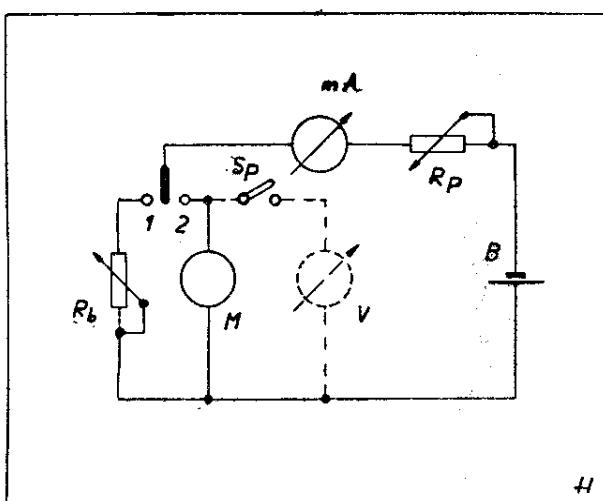
$$R_v = 1 : I_m \quad [\Omega, A]$$

u čehož vidíme, že na každý volt napětí musíme mít v obvodu odpor, který se číselně rovná převratné hodnotě základního proudového rozsahu I_m . Dosazujeme jej v ampérech, R_v pak vyjde v ohmech. Lze tedy vyslovit pravidlo, že odpor voltmetru na jeden volt se rovná převratné hodnotě základního proudového rozsahu.

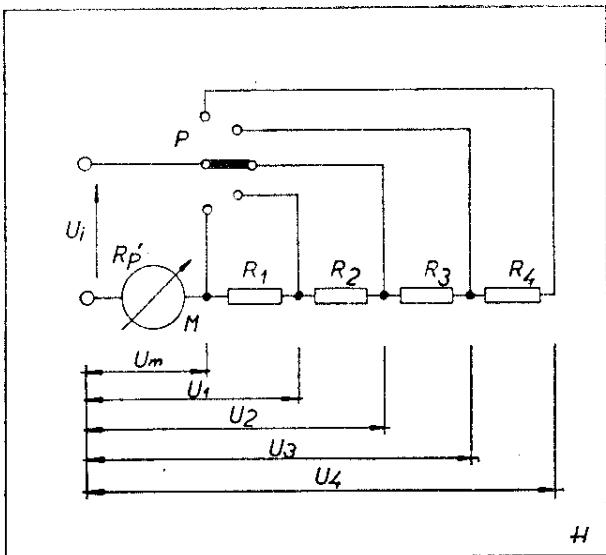
Podle tohoto pravidla je tedy možno vypočítat předřadný odpor pro libovolné napětí U_i :

$$R_p''_i = (U_i - U_m) \cdot R_v \quad [\Omega, V] \quad (8)$$

Vezměme si na příklad složený předřadný odpor pro více rozsahů, jak jej vidíme na obr. 14. Mimo základní rozsah U_m žádáme ještě $U_1 \div U_4$. Příslušné odpory jsou zapojeny za sebou (ačkoliv je i možná úprava, kde všechny odpory vycházejí z jednoho bodu – viz obr. 15) a rozsahy měníme přepinačem. Jednotlivé předřadné odpory zjistíme ze vztahů:



Obr. 13.



Obr. 14.

$$R_1 = \frac{U_1 - U_m}{I_m}, \quad R_2 = \frac{U_2 - U_1}{I_m};$$

$$R_3 = \frac{U_3 - U_2}{I_m}; \quad R_4 = \frac{U_4 - U_3}{I_m} \quad \text{atd.}$$

nebo podle rovnice (8), kde $R_v = 1 : I_m$
 $R_1 = (U_1 - U_m) \cdot R_v; \quad R_2 = (U_2 - U_1) \cdot R_v; \quad R_3 = (U_3 - U_2) \cdot R_v.$

Kdybychom však použili méně obvyklého zapojení podle obr. 15, pak budou rovnice pro jednotlivé odpory vypadat takto:

$$R_1 = \frac{U_1 - U_m}{I_m}; \quad R_2 = \frac{U_2 - U_m}{I_m}; \quad \text{atd.}$$

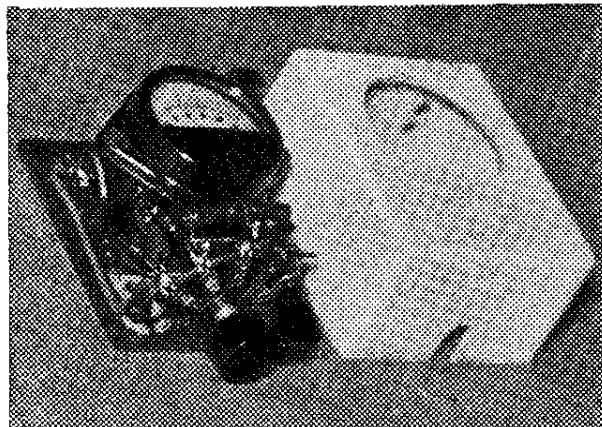
nebo

$$R_1 = (U_1 - U_m) \cdot R_v;$$

$$R_2 = (U_2 - U_m) \cdot R_v; \quad \text{atd.}$$

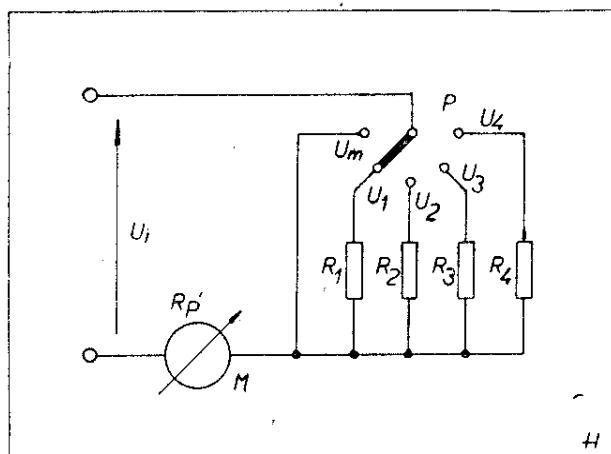
Malý stejnosměrný voltmetr

Pro kontrolu napětí přenosných přijímačů, vysilačů a podobných přístrojů, které vozíme s sebou (příkladně o Polním dnu) se velmi dobře hodí dále popisovaný kapesní voltmetr. Opět bylo použito jako v předešlém případě trolitulové skřínky, do které bylo vestavěno měřidlo a veškeré součásti. Požadované rozsahy přístroje jsou: 5 V, 50 V, 250 V, 500 V, 2500 V. Jako přepinač je použit upravený

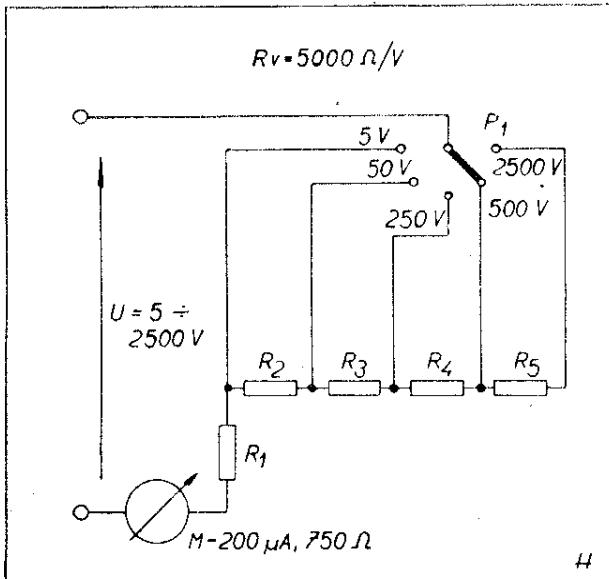


vzor TA (viz hořejší fotografii), který je upevněn úhelníkem na základní umaplexové destičce o rozměrech 70 × 58 mm. Tato destička nese inkurantní výprodejní měřidlo o výchylce 200 μ A = I_m , $R_p' = 750 \Omega$, a $U_m = 0,15$ V. Měřidlo bylo tentokráté ponecháno v původním stavu; nebyla prodlužována ručka a přístroj nebyl vyjmut z původního bakelitového pouzdra. Ve skřínce je pouze proříznut kruhový otvor, do kterého je umístěno pouzdro měřidla. Je tedy skřínka na základní destičku jen nasazena a na bocích zajištěna několika šroubkami M2 proti vyklouznutí. Tato úprava je dosti dobře patrná z připojené fotografie. Na základní destičce je v pravém rohu miniaturní zástrčka pro přívodní šňůry a v blízkosti přepinače je zanýtováno několik dutých nýtek, do nichž jsou připájeny jednotlivé předřadné odpory.

Jinak je celá konstrukce velmi jednoduchá a nemusíme se bát žádných zá-



Obr. 15.



Obr. 16.

ludností. Schema voltmetru je na obr. 16, hodnoty předřadných odporů jsou:

$$R_1 = 24\,250 \Omega; R_2 = 225\,000 \Omega;$$

$$R_3 = 1\,000\,000 \Omega; R_4 = 1\,250\,000 \Omega;$$

$$R_5 = 10\,000\,000 \Omega.$$

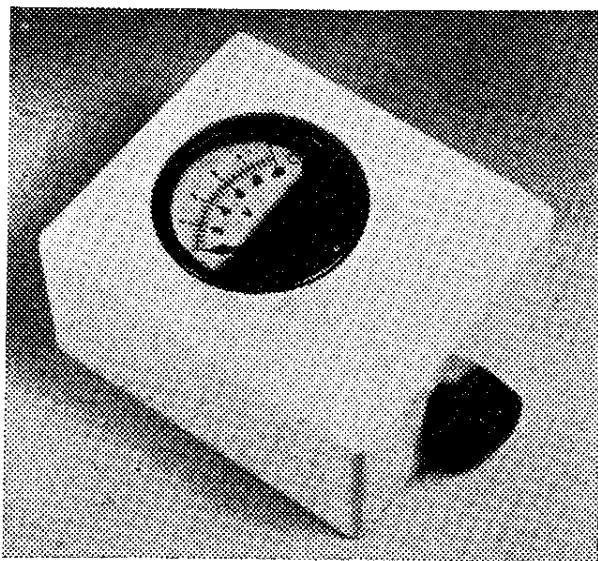
a odpor voltmetru na jeden volt činí:

$$R_v = 5000 \Omega/V.$$

Jak je tato hodnota důležitá, ukážeme si dále. Měříme třeba napětí stínící mřížky, jak je naznačeno na obr. 17. Mřížka je napájena přes poměrně velký odpor R . Připojíme-li voltmetr jedním koncem na mřížku a druhým na zem, pak měřidlo ukáže určitou výchylku. Ale pozor. Měřidlem protéká proud I_m , o který se zvětší proud I_r , který původně sám teče odporem R a způsobuje úbytek na spádu, čímž se napětí zdroje U_a zmenšuje na žádanou hodnotu U_s . Je-li proud měřidla I_m stejný nebo dokonce větší než proud stínící mřížky I_r , vzroste značně úbytek na spádu vznikající na odporu R a pak naměříme hodnotu U'_s , která je menší, než je správná hodnota U_s . Takovouto chybu bychom odstranili volbou měřicího přístroje s nepatrnnou (nebo nulovou) spotřebou, t. j. volili bychom přístroj se značně velkým (nekonečným) odporem na jeden volt – R_v . Jsme-li však vázání na použití daného přístroje, pak chybu zmenšujeme tím, že měříme na nej-

vyšším rozsahu voltmetu, čímž zmenšujeme jeho spotřebu (měřidlem protéká menší proud I_m), ale ovšem též i výchylku ručky. Tuto chybu nazýváme chybou metody. Existují však ještě chyby osobní a chyby přístroje. Pokud se týká chyby přístroje, je jasné, že použijeme-li jednou levného a drobného přístroje s krátkou ručkou a po druhé přístroje s třídou přesnosti 0,2, naměříme pravděpodobně rozdílné hodnoty. Přesnější přístroj dává výsledek s menší chybou, což je samozřejmé. Osobní chyby pak zaviňuje sám pozorovatel. Záleží též na jeho zraku a pak i na zkušenosti v odhadování a odečítání délky; chyba může vzniknout též při odečítání na nesprávné stupnici, zanedbáváním paralaxy (což je chyba, která vzniká šikmým pohledem a odstraňujeme ji tím, že podkládáme stupnice zrcátkem, abychom zajistili kolmé odečítání) a pod.

Jestliže jsme se již zde dotkli otázky chyb a přesnosti měření, pak je nutné si ujasnit určité zásady. V běžné radiotechnické praxi nemá smyslu žádat od běžných dílenských přístrojů přesnost větší než dvouprocentní. Velmi často totiž stačí přesnost menší, a proto při konstrukci používáme předřadných odporů hmotových o dosti velké toleranci, které upravujeme škrabáním či přidáváním paralelních členů na žádané hodnoty. Totéž platí pro zpracování výsledků



Pohled na hotový přístroj

měření. U dílenských přístrojů nemá význam zjišťovat výsledek na více než dvě desetinná místa (na př. 0,38 A; 1,42 V a pod.). U velkých čísel, jako třeba u velikosti anodového napětí, je zbytečné se zabývat desetinami (na př. 93,6 V, 283,5 V), když stačí pracovat s hodnotami zaokrouhlenými, neboť u běžných přístrojů je chyba tak velká, že hodnota, byl i správně přečtená, na posledních místech není stejně zaručená. Výše uvedené je opodstatněno již proto, že odchyly do dvou procent od správné hodnoty nemají na činnost běžných radiových přístrojů podstatný vliv. Proto též pro amatérské účely je pro snadné používání důležitější vhodná úprava (nepříliš velké rozměry, malá váha a pevná stavba), než přílišná přesnost, které se dá dosáhnout jen u specializovaných přístrojů.

Měřidla proudu – ampérmetry

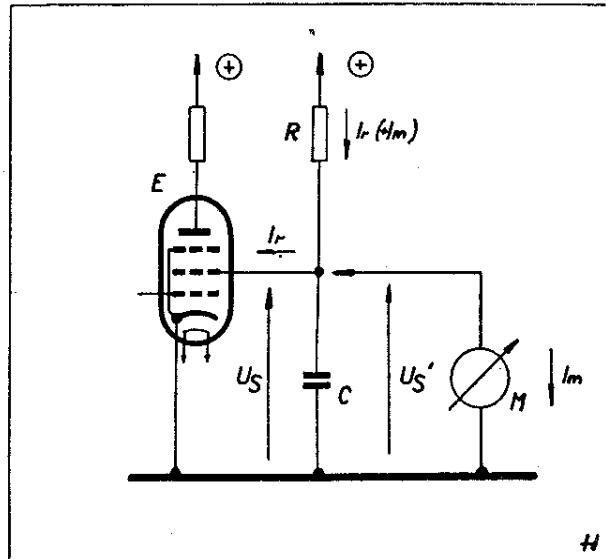
Vycházíme zde, tak jako při návrhu voltmetrů, ze základních hodnot měřidla, t. j. z výchylky v ampérech I_m , ve voltech U_m a z vnitřního odporu R_p' . Ampérmetr získáme z měřidla tak, že k němu připojujeme paralelně bočníky R_m' , které zvětšují základní rozsah měřidla. Tak chceme-li, aby měřidlo o výchylce I_m s připojeným bočníkem měřilo značně větší proud I_k , pak připojeným bočníkem při plné výchylce musí protékat proud I_m' , rovný právě rozdílu těchto dvou proudů, t. j. $I_k - I_m$, jak je též na obr. 18 naznačeno. Výraz pro výpočet bočníku R_m' odvodíme z rovnice (6), s níž jsme se již v předešlém setkali:

$$R_m' = \frac{R_c \cdot R_p'}{R_p' - R_c};$$

$$R_c = U_m/I_k; R_p' = U_m/I_m;$$

po dosazení

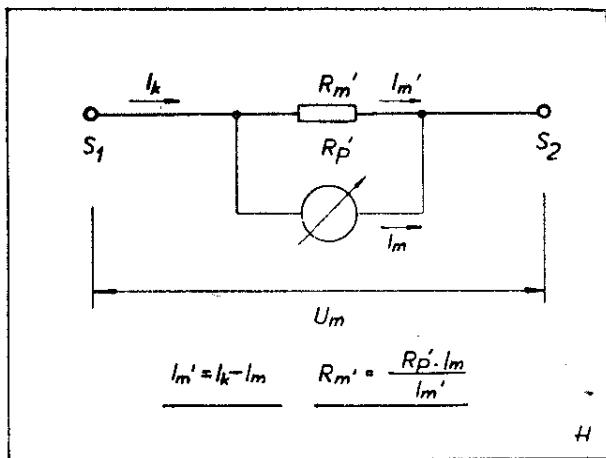
$$R_m' = \frac{\frac{U_m^2}{I_m \cdot I_k}}{\frac{U_m}{I_m} - \frac{U_m}{I_k}} = \frac{R_p' \cdot I_m}{I_k - I_m} = \frac{U_m}{I_m'} [\Omega, V, A] \quad (9)$$



Obr. 17.

Je samozřejmé, že při konstrukci ampérmetru se snažíme zajistit, aby připojení bočníku bylo provedeno robustně, neboť bočníkem protéká vždy daleko větší proud než měřidle. Tím se též vyvarujeme nepřesnostem a mnohdy i škodám, které by mohly vzniknout pro velké přechodové odpory. Kdyby totiž měřený proud pro špatný kontakt či slabý spoj nemohl procházet bočníkem, pak by mu nezbývala jiná cesta než měřidlem; určitě by bylo vážně poškozeno spálením cívky.

Při pohledu na obr. 18. si uvědomíme ještě jednu věc. Aby totiž ampérmetr ukázal plnou výchylku I_k , musí na jeho svorkách být též plné napětí U_m . Z toho vyplývá, že tak jako jsme u voltmetrů mluvili o spotřebě v miliamperech, která byla dána odporem na volt – R_v , tak u ampérmetrů rozeznáváme spotřebu ve voltech, která je dána součinem R_p' . I_m nebo R_m' . I_k . Toto je zvláště důležité při měření proudu v obvodu pod malým napětím. Kdybychom u bateriového přijimače, napájeného jedním monočlánkem o 1,5 V, měřili proud, který odebírá elektronky na žhavení, pak při spotřebě ampérmetru cca 0,4 V bychom nezjistili správný odběr, neboť elektronky by byly podžhavené a výchylka v mA by byla menší než ve skutečnosti. Správnou výchylku bychom dostali tak, že bychom



Obr. 18.

pro měření zvýšili napětí o ztrátu ampérmetru a pak teprve měřili. Tento příklad názorně vidíme na obr. 19. Musí být tedy napětí za ampérmetrem rovné napětí provoznímu.

Z následujícího tedy vyplývá, že pro ampérmetr se hodí nejlépe měřidlo, jehož vnitřní odpor R_p' je co nejmenší.

Máme na příklad měřidlo o základních hodnotách $R_p' = 3500 \Omega$, $I_m = 100 \mu\text{A}$ a $U_m = 0,35 \text{ V}$ a chceme z něho vyrobit ampérmetr o rozsazích: $I_1 = 0,0001 \text{ A}$, $I_2 = 0,0006 \text{ A}$; $I_3 = 0,06 \text{ A}$; $I_4 = 0,6 \text{ A}$; $I_5 = 6,0 \text{ A}$. Jednotlivé rozsahy budeme přepínat přepinačem, který bude dimenzován pro značnější proudy (z důvodů výše uvedených). Nelze tedy použít pro konstrukci ampérmetru běžných

přepinačů pro radiová zařízení, s kterými jsme vystačili při konstrukci voltmetru. Jednotlivé bočníky vypočteme podle rovnice (9) a budou mít hodnoty:

$$R_1 = 0,35/0,0005 = 700 \Omega;$$

$$R_2 = 0,35/0,0059 \doteq 59,3 \Omega;$$

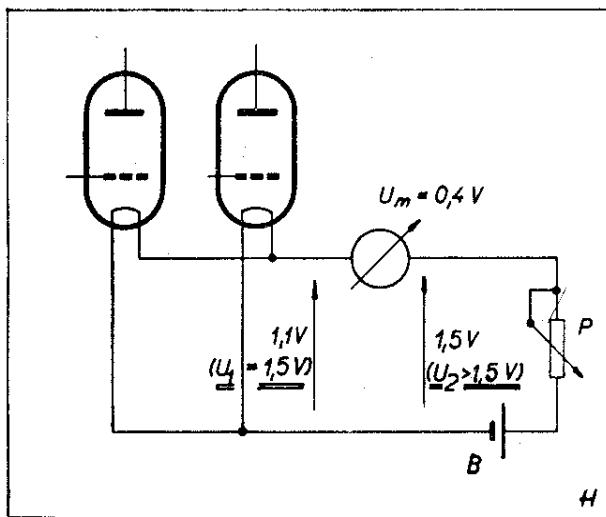
$$R_3 = 0,35/0,0599 \doteq 5,83 \Omega;$$

$$R_4 = 0,35/0,5999 \doteq 0,583 \Omega;$$

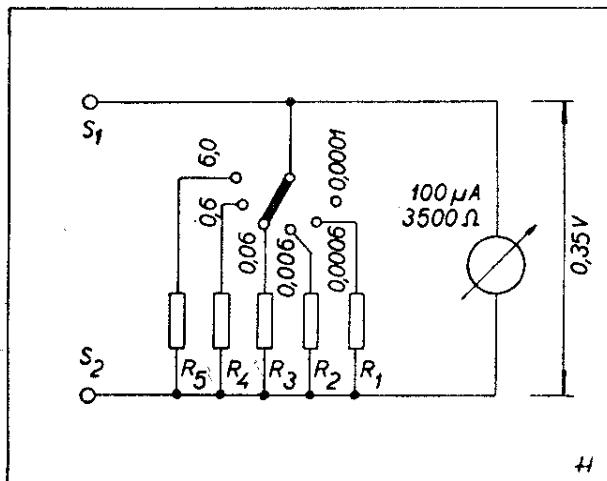
$$R_5 = 0,35/5,9999 \doteq 0,0583 \Omega.$$

Zapojení ampérmetru vidíme na obr. 20. Na všech rozsazích se pak uplatňuje při plné výchylce ztráta $0,35 \text{ V}$. Není tedy uvedené měřidlo právě nejvhodnější pro ampérmetr, naopak by výborně vyhovělo jako voltmetr o vnitřním odporu $R_v = 10\,000 \Omega$ na volt. Totéž se dá říci zase opačně, a to tak, že měřidlo, které by jako voltmetr vykazovalo nízký odpor na volt, se výborně hodí ke konstrukci ampérmetru.

Přídavné odpory, pokud nejsou malých hodnot, zhotovujeme z běžných odporů skládáním (paralelním) na žádanou hodnotu. Bočníky o odporu menším než deset ohmů zhotovujeme z izolovaného odporového drátu, jako je konstatan, manganin, nikelin, chromonikl nebo cekas. Poslední tři jsou již méně vhodné. Odpory vineme na bakelitové cívky a to bifilárně, abychom vyloučili vliv indukčnosti a tím kmitočtovou závislost (na střídavém rozsahu). U všech odporů (a to jak pro voltmetry či ampér-



Obr. 19.



Obr. 20.

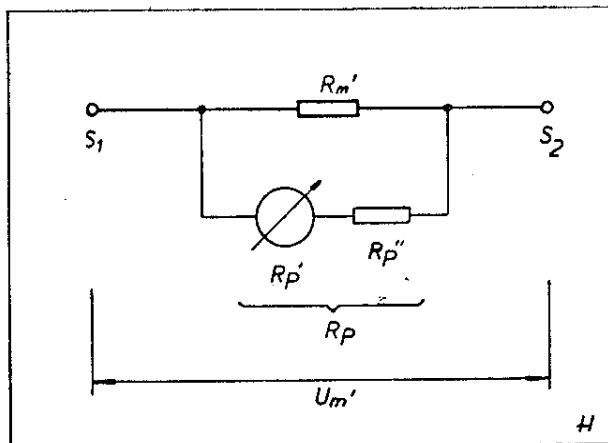
metry) zjišťujeme, jaký výkon N ve wattech spotřebují, podle rovnice:

$$N = U_i \cdot I_m' [V, A, W] \quad (10)$$

kde U_i značí napětí rozsahu, na kterém je uvažovaný odpor použit a I_m' značí maximální možný proud, procházející odporem při plné výchylce měřidla.

Při zkoušení hotového ampérmetru zjistíme další zajímavou věc. Čím totiž budeme měřit na větším rozsahu, tím více bude měřidlo tlumeno. Jednotlivé bočníky totiž spojují měrný systém na krátko, a to tím více, čím je hodnota bočníku menší. Kdyby tlumení na největším rozsahu přístroje bylo přílišné, což by se projevovalo neochotným dojížděním ručky na výchylku, pak bychom mohli vliv tlumení zmenšit zařazením předřadného odporu mezi bočník a vlastní měřidlo tak, jak je tomu naznačeno na obr. 21. Tím bychom tlumení omezili, avšak vzrostla by nám spotřeba přístroje (úbytek na spádu vznikající procházejícím proudem by byl větší). Při výpočtu pak bereme místo hodnoty R_p' zvětšený odpor R_p a pochopitelně i napětí U_m' .

V praxi se též často používá pro ampérmetry sdruženého bočníku, jehož schema vidíme na obr. 22. Jeho výpočet je podstatně složitější a proto též se netěší velké oblibě mezi amatéry. Postup výpočtu je dále uveden. Sdružený bočník se skládá z několika odporů podle počtu požadovaných rozsahů. Celkový odpor sdruženého bočníku, složeného z odporů $R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$



Obr. 21.

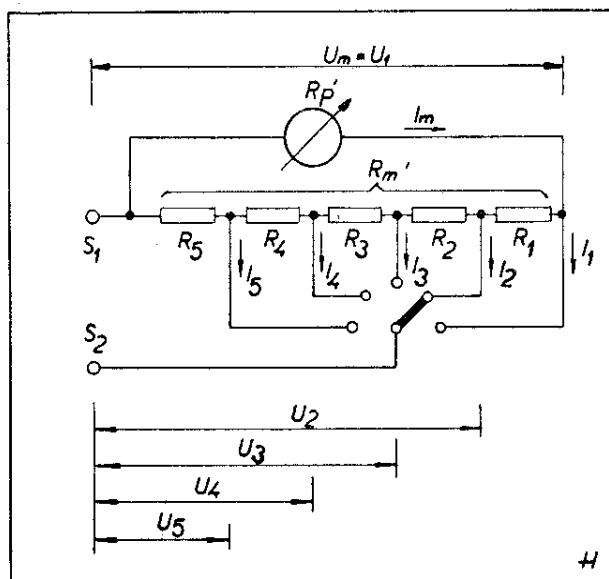
představuje odpor Rm' , což je též vyznačeno na obr. 22. Hodnotu tohoto bočníku lze snadno vypočítat.

Základní rozsah přístroje je dán výchylkou měřidla, od kterého je bočník odpojen. Po připojení bočníku Rm' se rozsah pochopitelně zvětší. Další zvětšování rozsahů pak provádíme tak, že měřený proud přivádíme přepinačem do části bočníku tím menší, čím větší rozsah měření požadujeme. Při tomto způsobu zapojení je však nutno mít na paměti, že spotřeba ampérmetru při přepínání na vyšší rozsahy se zvětšuje (při plné výchylce). Tvoří tedy obvod dvojici paralelních členů, kde v jedné dvojici je $Rp' + R_1 + \dots$ a v druhé dvojici jsou členy zbyvající, t. j. $\dots + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$, kde R_n je posledním členem sdruženého bočníku. Pochopte, že pro každou polohu přepinače se tedy tyto dvojice různí.

Nyní k vlastnímu odvození obecných vztahů, které později budeme potřebovat pro návrh. Podle schematu na obr. 22 můžeme vyjádřit tyto rovnice:

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = Rm' = \frac{Rp' \cdot Im}{I_1 - Im} \quad (11a)$$

$$R_2 + R_3 + R_4 + R_5 =$$



Obr. 22.

$$= \frac{(Rp' + R_1) \cdot Im}{I_2 - Im} \quad (11b)$$

$$R_3 + R_4 + R_5 = \frac{(Rp' + R_1 + R_2) \cdot Im}{I_3 - Im} \quad (11c)$$

$$R_4 + R_5 = \frac{(Rp' + R_1 + R_2 + R_3) \cdot Im}{I_4 - Im} \quad (11d)$$

$$R_5 = \frac{(Rp' + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \cdot Im}{I_5 - Im} \quad (11e)$$

Z těchto rovnic by již bylo možné vypočítat jednotlivé hodnoty třeba Gaussovu eliminací (dosazováním). Bylo by to však poněkud zdlouhavé a tak postupujeme dále, až dostaneme výsledky jednoduší. — Ze schematu pak podle Ohmova zákona ($I = U/R$) vyplývá dále platnost vztahů:

$$I_1 = \frac{U_1}{Rm' \cdot Rp'} \quad (12a)$$

$$I_2 = \frac{U_2}{(R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \cdot (Rp' + R_1)} \quad (12b)$$

$$I_3 = \frac{U_3}{(R_3 + R_4 + R_5) \cdot (Rp' + R_1 + R_2)} \quad (12c)$$

$$I_4 = \frac{U_4}{(R_4 + R_5) \cdot (Rp' + R_1 + R_2 + R_3)} \quad (12d)$$

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5 \cdot (Rp' + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} \quad (12e)$$

při čemž jmenovatel vyjadřuje vždy výsledný odpor paralelní dvojice, která na příklad pro proud I_4 je tvořena z odporů $(R_4 + R_5) \parallel (Rp' + R_1 + R_2 + R_3)$ a podobně. Dále odvodíme ze vztahů (11a) ÷ (11e):

$$I_1 - Im = \frac{U_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad (13a)$$

$$I_2 - Im = \frac{U_2}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad (13b)$$

$$I_3 - Im = \frac{U_3}{R_3 + R_4 + R_5} \quad (13c)$$

$$I_4 - Im = \frac{U_4}{R_4 + R_5} \quad (13d)$$

$$I_5 - Im = \frac{U_5}{R_5} \quad (13e)$$

Dělíme-li pak rovnice (13a) až (13e) rovnicemi (12a) až (12e), vyloučíme neznámá Ui a obdržíme po úpravě:

$$I_1 - Im = I_1 \cdot \frac{Rp'}{Rm' + Rp'} \quad (14a)$$

$$I_2 - Im = I_2 \cdot \frac{Rp' + R_1}{Rm' + Rp'} \quad (14b)$$

$$I_3 - Im = I_3 \cdot \frac{Rp' + R_1 + R_2}{Rm' + Rp'} \quad (14c)$$

$$I_4 - Im = I_4 \cdot \frac{Rp' + R_1 + R_2 + R_3}{Rm' + Rp'} \quad (14d)$$

$$I_5 - Im = I_5 \cdot \frac{Rp' + R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{Rm' + Rp'} \quad (14e)$$

Pravé strany výše uvedených rovnic vložíme za $(I_1 - Im)$ až $(I_5 - Im)$ do rovnic 11. Obdržíme pak:

$$Rm' = \frac{Im \cdot (Rm' + Rp')}{I_1} \quad (15a)$$

$$R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = \frac{Im \cdot (Rm' + Rp')}{I_2} \quad (15b)$$

$$R_3 + R_4 + R_5 = \frac{Im \cdot (Rm' + Rp')}{I_3} \quad (15c)$$

$$R_4 + R_5 = \frac{Im \cdot (Rm' + Rp')}{I_4} \quad (15d)$$

$$R_5 = \frac{Im \cdot (Rm' + Rp')}{I_5} \quad (15e)$$

Nyní bychom mohli již dosazovat známé hodnoty a postupně vypočítat R_1 až R_5 . S tímto výsledkem se však neuspokojíme, a snažíme se najít obecný výraz pro jakýkoliv člen. Tak odečteme-li rovnici (15b) od (15a), obdržíme:

$$(15a) - (15b) = R_1 \\ = Im \cdot (Rm' + Rp') \cdot \frac{I_2 - I_1}{I_1 \cdot I_2}$$

Jak z výše uvedeného vyplývá, můžeme výše uvedenou rovnici vyjádřit obecně:

$$R_i = Im \cdot (Rm' + Rp') \cdot \frac{I_{i+1} - I_i}{I_i \cdot I_{i+1}} \quad [\Omega, V, A] \quad (16)$$

kde index i označuje libovolný člen v pořadí.

Poslední odpor R_n se však podle této rovnice vypočítat nedá, neboť zde již neexistuje člen I_{i+1} , a proto jej najdeme podle rovnice (15e):

$$R_n = \frac{Im \cdot (Rm' + Rp')}{I_n} \quad [\Omega, V, A] \quad (17)$$

kde index n značí poslední člen v řadě odporů.

Zájemce o výpočet nechť neleká předchozí odvození, které je uvedeno jen pro porozumění; pro výpočet používáme jen rovnice (16) a (17).

Nyní si pro porovnání s předchozím výpočtem provedeme výpočet sdruženého bočníku pro ampérmetr o rozsazích: $0,0006 \text{ A} — I_1$; $0,006 \text{ A} — I_2$; $0,06 \text{ A} — I_3$; $0,6 \text{ A} — I_4$; $6,0 \text{ A} — I_5$. Základní hodnoty jsou: $Im = 0,0001 \text{ A}$, $Rp' = 3500 \Omega$ a $Um = 0,35 \text{ V}$.

Výpočtem obdržíme:

$$Rm' = \frac{0,35}{0,0005} = 700 \Omega$$

$$R_1 = 0,0001 \cdot (700 + 3500) \\ \cdot \frac{0,0054}{0,0000036} = 630 \Omega$$

$$R_2 = 0,0001 \cdot 4200 \cdot \frac{0,054}{0,00036} =$$

$$= 63 \Omega$$

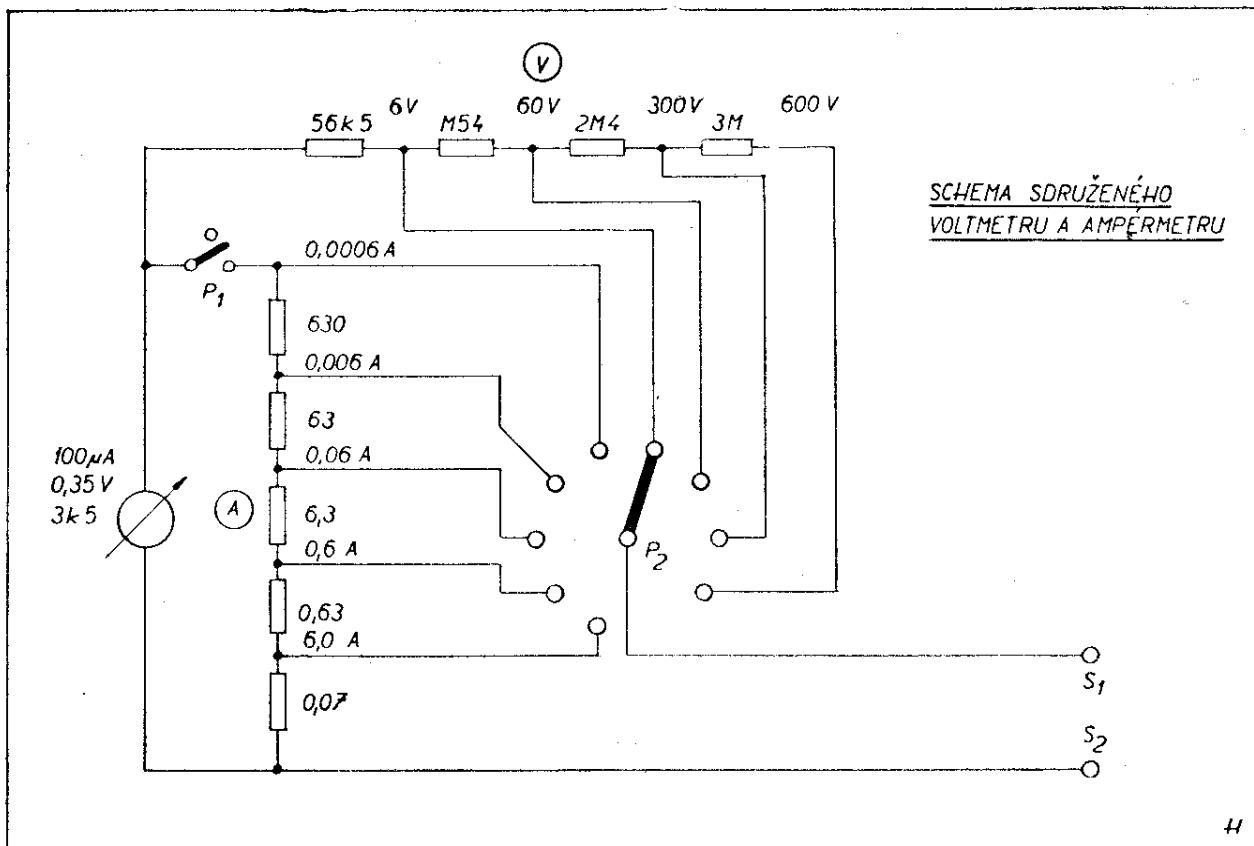
$$R_3 = 0,42 \cdot \frac{0,54}{0,036} = 6,3 \Omega$$

$$R_4 = 0,42 \cdot \frac{5,4}{3,6} = 0,63 \Omega$$

$$R_5 = \frac{0,42}{6,0} = 0,07 \Omega.$$

Kontrolou nám budiž součet jednotlivých hodnot, t. j. $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$, který se musí rovnat Rm' : $630 + 63 + 6,3 + 0,63 + 0,07 = 700 \Omega$ (Stejným způsobem se též počítá bočník pro přepinatelný napěťový ohmmetr, jehož schema je na obr. 12. Obrátíme-li několik stran zpátky a podíváme-li se na ně blíže, zjistíme, že je zde celkem sedm odporů. Odpory R_1 , R_2 a R_3 upravují jednotlivé průběhy, odpory R_4 , R_5 a R_6 tvoří vlastní sdružený bočník. Poslední odpor Rp pak představuje vlastní předřadný odpor, kterým upravujeme základní rozsah. Výchozí podmínkou pro výpočet je ta okolnost, že při zkratování jednotlivých zdířek – t. j. při měření, kdy Rx se rovná nule – musí procházet měřidlem plný proud a toto pak pochopitelně ukáže plnou výchylku. Z této podmínky pak sestavíme rovnice, které jsou podobné výše uvedeným [rov. 11—17].

Na základě předchozích úvah a příkladů je nyní možné konstruovat jakýkoliv voltmetr či ampérmetr, případně sdružit obě měřidla v jeden celek. Tak se to též obyčejně provádí. Jeden takový případ sdruženého voltmetu a ampérmetru vidíme na obr. 23. V podstatě nejde o nic nového; jde prakticky jen o vyřešení jednoduchého přepínání jednotlivých rozsahů. Tak je tomu i v uvedeném případě. Pravé čtyři polohy přepinače P_2 , při rozpojeném spinači P_1 , tvoří z přístroje voltmetr s vnitřním odporem deset tisíc ohmů na volt. Pět levých poloh přepinače mění měřidlo na ampérmetr, při čemž je nutno, aby spinač P_1 byl stále sepnut. Jinak bychom totiž na proudovém rozsahu nic nenaměřili. Spotřeba při měření proudu



Obr. 23.

(při plné výchylce) na základním rozsahu 0,0006 A je rovná 0,35 V; na rozsazích vyšších o něco málo stoupá (mění se Ui – viz výše). Vhodnou mechanickou konstrukcí přepinače je možné sloučit přepínání a spínání na jednu osu. Tímto zásahem se obsluha měřidla do jisté míry zjednoduší. Je možné též použít pro proudové rozsahy i jednotlivých paralelních bočníků, pak však zapojení přepinačů bude poněkud komplikovanější. Musíme zde však ještě jednou upozornit na tu okolnost, že při měření proudu se uplatňují veškeré odpory spojů, a proto budeme spoje ampérmetru provádět silným drátem, abychom se vyvarovali eventuálním poruch a chyb měření. Taktéž přepinač pro proudové rozsahy musí být dostatečně dimensován, aby eventuální přechodové odpory dotyků jednak nezpůsobovaly chyby při měření, jednak snížením proudového rozsahu neohrozily samotný citlivý měřicí systém. Komu by se nepodařilo sehnat vhodný přepinač, může vybavit měřicí přístroj jedno-

duchými zdírkami a přepínat jednotlivé rozsahy pouhým překolíčkováním banánek přívodních šnúr. Spinač P_1 by však i nadále zůstal zachován ve své funkci.

Jak je vidět, i při tak jednoduchých konstrukcích, jako jsou měřicí přístroje, se objeví před konstruktérem řada problémů, s nimiž je nutno se vyrovnat, má-li zhotovený přístroj rádně plnit úkoly a být k užitku i k potěše.

Usměrňovače pro měřicí přístroje

V předchozích odstavcích jsme se seznámili jak theoreticky, tak i na praktických příkladech se stejnosměrnými měřidly. To však pro naše účely nestačí, neboť chceme tato nejběžnější měřidla (t. j. voltmetr, ampérmetr) rozšířit tak, abychom s nimi mohli provádět i měření střídavého proudu a napětí.

Podstata st měřidel je jednoduchá: napojíme je totiž přes usměrňovač doplněný opravným obvodem a obvyklými předřadnými odpory či bočníky pro změnu rozsahu. Při návrhu a konstrukci

se dále snažíme, abychom pokud možno zajistili rovnoměrný průběh stupnice, který je dán charakteristikou usměrňovače a velikostí odporů v opravném obvodu.

Než dojdeme k vlastnímu návrhu a výpočtu st měřidel, povíme si nejprve něco o součástce, která jím dala vznik a která je jejich nezbytným doplňkem, t. j. o dotykovém usměrňovači.

Podstata dotykového usměrňovače spočívá v tom, že několik destiček z různých materiálů složených na sebe se vyznačuje nesouměrnou vodivostí. Znamená to, že proud těmito destičkami jedním směrem prochází poměrně snadno, zatím co opačným směrem velmi těžko.

Od doby, kdy usměrňovač vznikl, byl jeho vývoj ovlivněn různými požadavky, jako je ku př. trvanlivost, odolnost, malá váha, malé rozměry, dobrá účinnost a nízká cena. Všemu tomu vývoj postačil a stykový neboli kontaktní usměrňovač má dnes pevné postavení a skvělou budoucnost.

V zásadě rozeznáváme tři hlavní druhy suchých usměrňovačů: sirníkové, kuproxové a selenové. Sirníkové patří již minulosti, neboť jejich vlastnosti nevyhovovaly moderním požadavkům. Datují se z roku 1904, kdy byly ohlášeny patentem F. Pawlovského z Vídni. Asi v roce 1924 přišli Grondahl a Geiger se svým klasickým usměrňovačem z kysličníku mědného, Cu₂O, a skoro současně byly objeveny i fotoelektrické vlastnosti tohoto systému. V podstatě je to oxyd, vytvořený na měděné desce, který dovoluje elektronům v obvodu vystupovat z mědi, ale opačně nikoliv.

Je třeba však upravit na oxydu sběrací vrstvu, neboť sám je jen polovodičem a bylo by nepříznivé odvádět proud jen z jediného místa jeho povrchu. U kuproxů, jak se těmito usměrňovačům říká, najdeme kladný pól vždy na mědi. Zmíněný název kuprox (cuprum oxydum – kysličník mědný) je tedy výstižný jen pro usměrňovače používající oxydované mědi. Zdůrazňujeme to proto, že se mnohdy mylně říká kuprox každému suchému usměrňovači, tedy i selenové-

mu, což by leckdy vedlo k nedorozumění.

Kuprox je nejvíce probádán co do podstaty usměrňovacího jevu. Jedna teorie říká, že mezi mateřskou mědí a oxydem na ní vzniklým je několik stotisícin milimetru tenké dielektrikum, o kterém právem předpokládáme, že má ventilový účinek, neboť se dá dokázat, že jak sama měď, tak i samotný oxyd neusměrňuje. Mezi oběma materiály vzniká tedy elektrostatické „ssání“, které způsobuje, že elektrony dosti ochotně z mědi vystupují, neboť ta je jimi bohatá, a jdou do oxydu, polovodiče na elektrony chudého. Dá se též matematicky vyjádřit, jak silné je toto elektrostatické pole, je-li vzdálenost obou elektrod několik stotisícin milimetru, i když přiložený potenciál činí jen několik voltů.

Z praxe víme, že dobře udělaný kuproxový usměrňovač vykazuje velmi dlouhou životnost. Za svého vývoje, t. j. během asi třiceti let, byl dokonale vypracován a bylo zjištěno, že 50 000, 80 000 i více hodin provozu je zcela běžná doba jeho života. Není na něm nic, co by se mohlo opotřebovat. Pracuje tiše, bez výparů, bezpečně. Podržuje své hodnoty, zvláště při malém zatížení, a proto se hodí přímo ideálně pro měřicí účely, ponejvíce jako usměrňovač k přístrojům s otočnou cívkou.

Protože však žádný fysikální jev neprobíhá ideálně, t. j. beze ztrát, i nás usměrňovač si za svou činnost něco vyžaduje. Je to část celkového výkonu, která se mění v teplo, takže desky usměrňovače se provozem zahřívají. Toto platí o všech druzích usměrňovačů bez výjimky, někdy více, někdy méně. Zahřátí u kuproxů má však též svou kladnou stránku, neboť teprve při správné provozní teplotě se dosahuje plného výkonu. Studený, právě zapnutý usměrňovač dává po nějaký čas menší výkon, t. j. v našem případě menší výchylku. Ale i zde platí: všechno s mírou. Přílišné zahřátí usměrňovače vede k jeho zkáze, a proto se musíme snažit o chlazení nebo aspoň o rádné odvádění tepla. Je proto pochopitelné, že usměrňovač nebudeme umisťovat v blízkosti jiných teplých zdrojů a obecně pro něj volíme chladná a suchá místa.

Nyní si řekněme něco o selenovém usměrňovači, s nímž amatér přichází do styku velmi často. Selenový usměrňovač pro stejný výkon má menší rozměry i váhu. Vyrábí se tak, že na železný, měděný neb hliníkový plech, obyčejně tvaru kotouče, se nanese respektive natví selen s určitými přísadami, čímž vznikne tenká souvislá skelná vrstvička, která se ještě nechá vykristalizovat. Pak se na selen nastříká lehce tavitelná slinita, která tvoří stříbrný povlak. Na tento povlak přitiskujeme sběrnou elektrodu, obyčejně mosaznou. Sběrná elektroda dává kladný pól, tedy opačně než u kuproxu.

Různé způsoby nanášení selenu, přidávání přísad k němu a celé zpracování jsou předměty mnoha patentů. Asi do roku 1932 nebyly selenové usměrňovače schopny delšího provozu a již po stu hodinách se projevilo rychlé stárnutí zvětšením vnitřního odporu. Teprve míšením selenu s tellurem a ještě jinými prvky se dosahovalo postupného zlepšení, takže dnes průměrný selenový usměrňovač až asi za deset až dvanáct tisíc hodin klesne na padesát procent své původní hodnoty, nezničí-li se ovšem jinak do té doby. Zlepšovací snahy se ovšem nezastavily a tak vývoj selenového usměrňovače neustále pokračuje.

Seleny byly ideálními usměrňovači do válečných strojů, ponejvíce letadel a lodí, protože jsou malé a výkonné. Během druhé světové války pokročil jejich vývoj mílovými kroky. Pro měřicí účely, což nás v našem případě nejvíce zajímá, se selenové usměrňovače zvláště nehodí. Je to jednak jejich nestálý odpor a jednak to, že při nižších napětích, asi do 0,5 V, vlastně neusměrňují. Je to podmíněno jejich charakteristikou, která z počátku velmi pomalu stoupá. A právě citlivé měřicí přístroje, ke kterým usměrňovače připojujeme, mají obvykle jen několik desítek nebo set milivoltů na plnou výhylku. Charakteristiky selenového a kuproxového usměrňovače jsou pro názornost nakresleny na obr. 24. Udávají závislost proudu na přikládaném napětí na jedné desce usměrňovače.

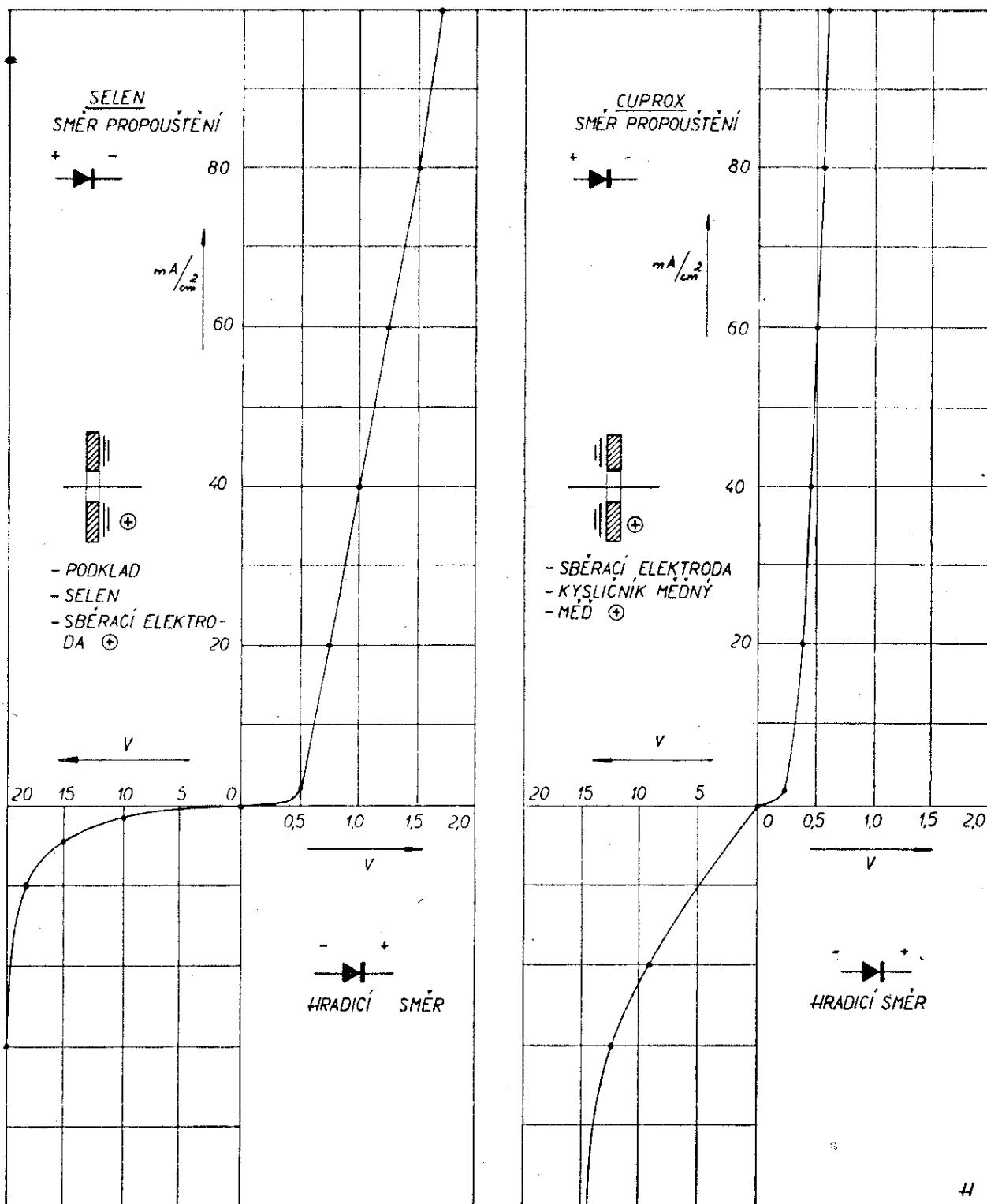
Závěrem dlužno podotknout, že kuprox i ostatní suché usměrňovače mají v zásadě podobné vlastnosti, jen jednot-

livá data se liší. U kuproxu, který se nejčastěji užívá v měřicích přístrojích, neklesá při nízkých napětích příliš jeho proud, vnitřní odpor je menší; dovolené zatížení je sice menší, snese však mnohem větší provozní teplotu.

Pro měřicí přístroje na střídavý proud jsou nevhodnější kuproxové usměrňovače Siemens. Vyznačují se charakteristickým tvarem – jeden takový usměrňovač vidíme na připojené fotografii. Každý typ je označen písmenem G (Gleichrichter), a zlomkem se čtyřmístným čitatelem a jednomístným jmenovatelem. První číslo jmenovatele udává tvar usměrňovače (1 = bakelitové pouzdro „šváb“; 2 nebo 3 = provedení s kruhovými destičkami, navlečenými na stahovací šroub). Další číslo vyznačuje průměr usměrňovacích destiček v mm u „švábů“, u sloupkových usměrňovačů tvar provedení chladicích žeber mezi usměrňovacími deskami. S průměrem destiček souvisí i maximální dovolený usměrňený proud: 3 mm pro 1 mA, 6 mm pro 5 mA, 8 mm pro 10 mA. Třetí číslicí je zachyceno zapojení destiček: 1 = jednocestný usměrňovač, 2 = dvoucestný usměrňovač v souměrném zapojení, 3 = jednocestný usměrňovač se středním vývodem mezi oběma polovinami, 4 = úplné zapojení můstkové (Graetzovo). Čtvrtá číslice znamená počet paralelních větví nebo úplných můstků v usměrňovači. Konečně číslice pod zlomkovou čarou udává počet usměrňovacích destiček v každé větvi usměrňovače. Na př. G 1641/1 je usměrňovač typ „šváb“ (1.../.) s destičkami o průměru 6 mm (.6.../.) v Graetzově můstkovém zapojení



Kuproxový usměrňovač Siemens, t. zv. „šváb“



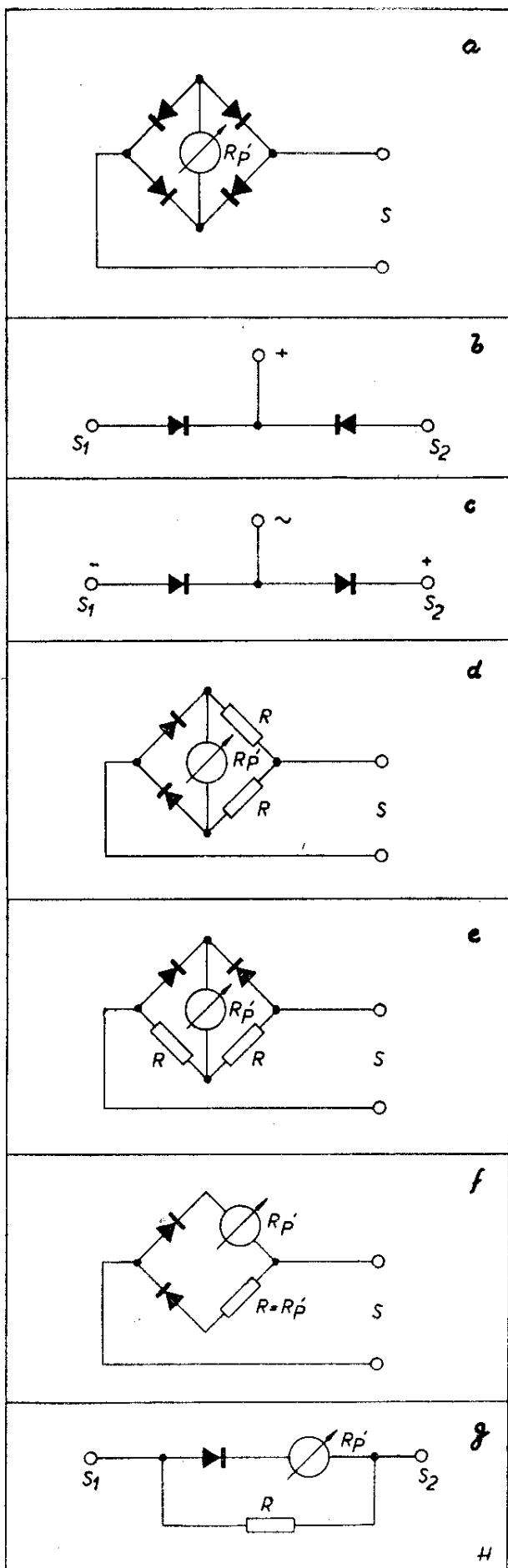
Obr. 24.

(..4./.), jediný můstek (...1/.), v každé větvi 1 destička (....1/).

Pro použití těchto usměrňovačů ve spojení s měřicím přístrojem má největší význam dovolené napětí, které lze vložit na střídavou stranu usměrňovače,

aby se jeho vlastnosti, pracním formováním a výběrem vyhledávané, při chodu měřidla neměnily.

Lze vyslovit jednoduchou zásadu: u půlvlnných usměrňovačů nesmí střídavé napětí na destičce překročit hodnotu



Obr. 25.

jednoho voltu, u můstkových hodnotu půl voltu pro každou destičku. Je-li napětí třikrát až pětkrát větší, usměrňovač se sice nezničí, ale nelze ho již použít jako dostatečně spolehlivého pro měřicí účely.

Dále je důležité upozornit na barevné označení vývodů usměrňovačů. Toto označení odpovídá normě ESC. Tak červeně je označován vývod, který se má spojit s kladnou svorkou měřidla, modře znamenaný vývod patří na zápornou svorku. Střídavá strana úplných můstků je označována fialovou a modrou barvou. U usměrňovačů s menším počtem usměrňovacích cest jedna nebo obě naposled jmenované barvy chybějí.

Na obr. 25. jsou nakreslena zapojení těchto usměrňovačů. Tak schema a) ukazuje nejběžnější zapojení s úplným Graetzovým můstekem – na př. výše zmíněný typ G 1641/1. Schema b) ukazuje usměrňovač jen dvoudestičkový, také i schema c). Jsou to příkladně typy G 1321/1 a G 1331/1 pro usměrněný proud nejvýše 1 mA. Na obr. 25b je dvoucestný usměrňovač v souměrném zapojení, obr. 25 c představuje jednocestný usměrňovač se středním vývodom. Z obou těchto typů můžeme složit úplný Graetzův můstek, avšak při použití dvou typů G 1321/1 musíme opatrně jeden z obou usměrňovačů rozbrat povolením stahovacího šroubu a obrátit polaritu středního vývodu převrácením obou destiček. Též však je možné vytvořit můstkové zapojení i s jedním z těchto usměrňovačů, pouze nahrazením chybějících destiček vhodně volenými odporu. Tato zapojení vidíme na schematu d) a e) Tento způsob však vyžaduje dosti citlivé měřidlo o výhylce tak $50 \div 100 \mu\text{A}$. Je-li pak vlastní odpor měřidla R_P' a odpor doplňkových odporů má hodnotu R a předpokládáme-li, že odpor usměrňovače je v propustném směru nulový, kdežto v opačném směru nekonečný, pak výsledný odpor celé kombinace (R_s) pro schema d) je:

$$R_s = (R + R_P') \parallel R = \frac{(R + R_P') \cdot R}{2R + R_P'}$$

a pro úpravu naznačenou na schématu e):

$$R_s = (R \parallel R_p') + R$$

Z toho vyplývá, že není lhostejné, v kterých větvích se nalézají oba usměrňovače. Podle schématu e) dává zapojení při stejném R a R_p' výsledný odpor větší než podle schématu d) a je tedy výhodnější pro měření napětí, kdežto druhý případ lze doporučit spíše pro měření proudu.

V zapojení předposledním podle schématu f) vidíme, že je jednodušší. Je zde však využito jen jedné půlvlny střídavého proudu a proto i citlivost též jen poloviční. R_v je zde rovno R_p' . Poslední schéma g) znázorňuje jednocestný usměrňovač s jednou destičkou. Za výše uvedených předpokladů platí:

$$R_s = [(R \parallel R_p') + R] : 2$$

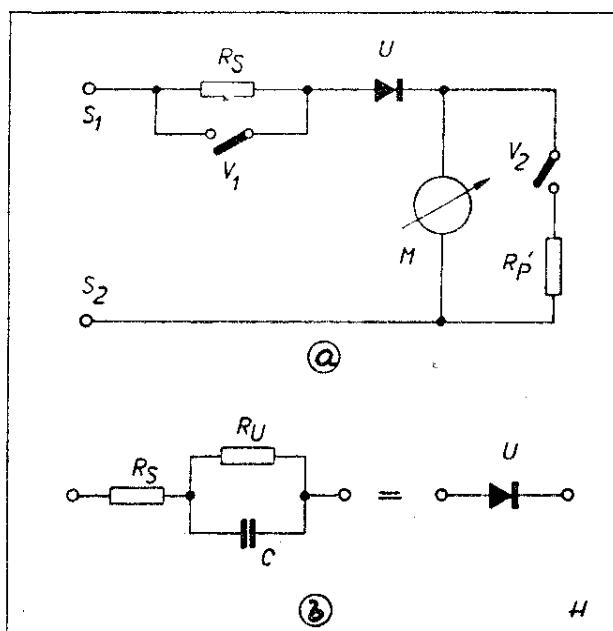
Odpor R nelze vynechat (představuje stejně příčný člen opravného obvodu), poněvadž jinak by nebyl proudový obvod v hradicím směru uzavřen a usměrňovač by hrozilo proražení přepětím. Toto zapojení, ačkoliv je možné, je nejméně vhodné, neboť usměrněný proud obsahuje dosti značnou střídavou složku o kmitočtu rovném kmitočtu měřené hodnoty. Nedokonalost usměrnění se pak téměř vždy projeví chvěním systému miliampérmetru a možností poškození hrotů, shoduji-li se měřený kmitočet s celistvým násobkem vlastního kmitočtu systému. Škodlivé chvění se obvykle vyskytuje až do kmitočtu 500 Hz.

Měřidla pro střídavý proud

Na obr. 26. je znázorněno zapojení měřidla s usměrňovačem, pod ním je vyobrazeno náhradní schéma (26b) dotykového usměrňovače. Odpor R_s představuje odpor vrstvy polovodiče, jehož velikost závisí na teplotě, nikoliv však na směru procházejícího proudu. Odpor usměrňující vrstvy je vyjádřen označením R_u , který též závisí na teplotě a navíc ještě na směru procházejícího proudu. Písmenem C značíme kapacitu usměrňovače, která je tvořena usměrňovací vrstvou dotykového usměrňovače.

Její kapacitu uvažujeme hodnotou 30 000 pF na jeden cm² plochy kuproxového usměrňovače. Důležité je též upozornit na to, že odpor R_u klesá s teplotou a podle některých autorů činí tento pokles až 6 % na stupeň Celsia.

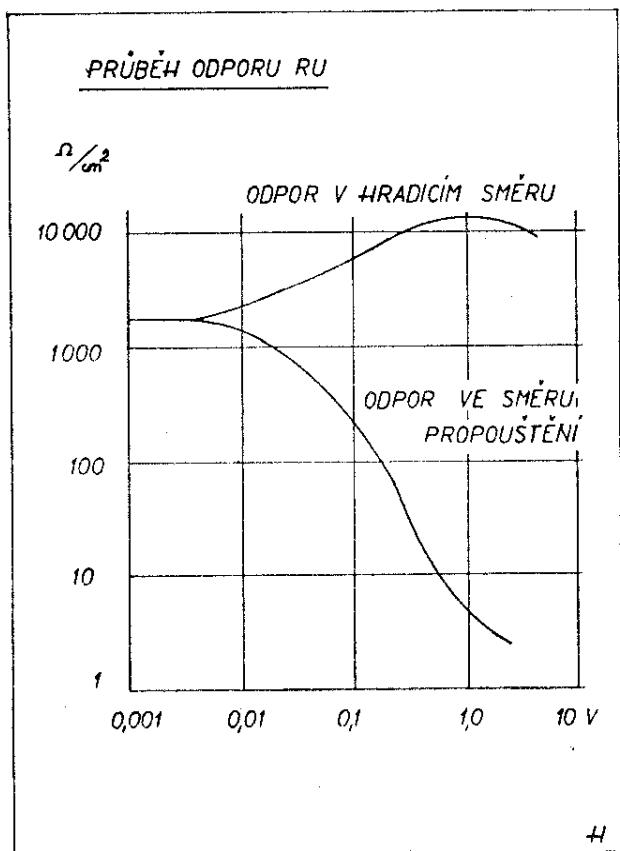
Vraťme se však k vyobrazení 26a. Na svorky S_1 a S_2 přivádíme z tvrdého zdroje proměnné napětí U_i , které necháme procházet usměrňovačem a měříme je měřítkem M . Při zkratovaném předřadném odporu R_s a odpojeném bočníku R_p' dostaneme určitý průběh napětí, který se bude vyznačovat tím, že bude velmi nerovnoměrný a k počátku stupnice velmi stlačen. Zařadíme-li nyní odpor R_s rozpojením vypínače V_1 , musíme zvýšit napětí na vstupu a nyní nově obdržený průběh bude již vykazovat poněkud větší rovnoměrnost, t. j. nebude již tolik stlačen k počátku stupnice jako v předešlém případě. V posledním případě, kdy zvětšíme spotřebu přístroje připojením bočníku R_p' spojením vypínače V_2 , t. j. zatížíme více usměrňovač (pochopitelně opět jsme nuceni zvýšit vstupní napětí – což se rovná zvětšení vstupního rozsahu), pak průběh stupnice bude již v poslední třetině rovnoměrný a nebude vykazovat nepřehledné zhuštění na počátku rozsahu. Příčina tohoto příznivého výsledku je následu-



Obr. 26.

jící: Víme, že v obvodu máme dvojí odpor: R_s a R_u . R_u však není stálý jako běžné odpory, t. j. úbytek na něm není lineární funkcí proudu, ale mění se podle velikosti procházejícího proudu. Průběh odporu R_u v závislosti na polaritě a velikosti přiloženého napětí vidíme na obr. 27. Tato nelineárnost je pak příčinou nelineárního průběhu stupnice. Vložíme-li však do obvodu lineární člen (jako je odpor R_s), tu na průběh stupnice převládá vliv toho člena, který je větší. Dosáhneme tedy tím rovnoramennější stupnice, cím větší bude hodnota R_s proti R_u ; to však má za následek, že se zvětší základní rozsah^{*)}). Získáváme tedy u přístrojů s usměrňovači stupnicí blízkou rovnoramennému průběhu tím, že zvětšíme seriový odpor obvodu tak, aby základní nerovnoměrný rozsah přístroje

*) Předřadný odpor R_s značíme stejně jako odpor vrstvy polovodiče, neboť vzhledem k tomu, že jsou oba zapojeny v serii, uvažujeme je při výpočtu jednou hodnotou — viz dále.



Obr. 27.

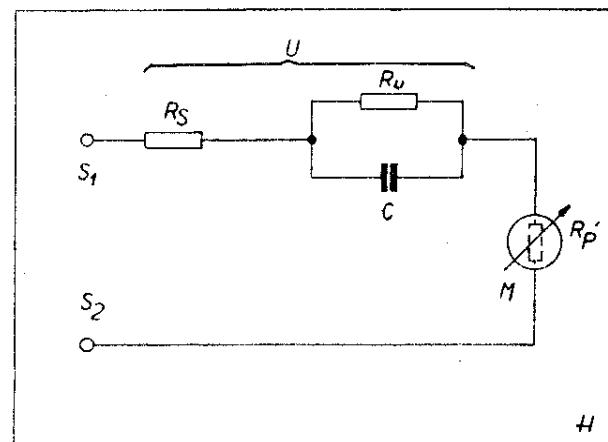
byl zanedbatelnou částí nového rozsahu. Znamená to tedy, aby první rozsah byl přibližně desetkrát větší než nejmenší základní rozsah — který však závisí na druhu usměrňovače.

Z požadavku rovnoramennosti stupnice pak dále vyplývá, že pro měřidla na střídavý proud je nejlepší používat mikroampérmetru s malou výchylkou ve voltech Um , velkého usměrňovače a značného předřadného odporu. Toto pravidlo je odvozeno z grafického znázornění charakteristiky usměrňovače včetně předřadného odporu. Citlivého mikroampérmetru používáme dále proto, abychom dostali dostatečně vysoký odpor na volt (Rv), který není v tomto případě dán podle vztahu $1:Im$, ale je několikrát menší — zpravidla třikrát. Toto zvětšování spotřeby provádíme záměrně, abychom dosáhli společné stupnice pro více rozsahů (viz dále).

S použitím velkého usměrňovače však dostáváme velkou kapacitu, která není žáданá a která se uplatňuje tím více, cím větší je R_s . Tato kapacita představuje paralelní člen k odporu R_u , jak je též patrné z vyobrazení. Protože však každá kapacita má t. zv. jalový odpor X_c , který vyjádříme rovnicí:

$$X_c = 10^{12} / 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C, \quad [\Omega, \text{pF}, \text{Hz}] \quad (18)$$

bude se tento odpor měnit s napětím o různém kmitočtu. (Tak na příklad pro $C = 3000 \text{ pF}$ při kmitočtu 100 Hz bude X_c rovno $530\,000 \Omega$, při kmitočtu $10\,000 \text{ Hz}$ bude X_c rovno 5300Ω).



Obr. 28.

Z toho vyplývá, že pro kmitočty, při nichž je jalový odpor X_C rovný nebo o něco menší než odpor usměrňovače R_u a při tom $R_s + R_p'$ značně větší než R_u , pak projde proud též kapacitou a dále neusměrněný přístrojem, aniž by však jej přístroj zaznamenal. To však neznamená, že bychom tento jalový proud mohli zanedbat, neboť o něj, právě proto, že je neusměrněný, se změní výchylka přístroje. Z toho je vidět, že s rostoucí kapacitou přibývá na kmitočtové závislosti, což je pro nás okolností nezádoucí.

Podle obr. 28, kde máme nakresleno náhradní schéma usměrňovače včetně měřicího přístroje, můžeme vyslovit následující předpoklady. Odpor usměrňovače R_u si můžeme myslit paralelně k $R_s + R_p'$ a pak tento kombinovaný odpor má následující vlastnosti. Je-li X_C velký proti $(R_s + R_p') \parallel R_u$, je výstupní napětí skoro rovné napětí vstupnímu; rovnají-li se však obě hodnoty sobě navzájem, je výstupní napětí rovné $\sqrt{2}/2 \times \text{napětí vstupní}$. Roste-li však kmitočet ještě dále, takže jalový odpor klesá pod hodnotu $(R_s + R_p') \parallel R_u$ klesá též výstupní napětí, a to nepřímo úměrně se stoupajícím kmitočtem. Blíží-li se hodnota jalového odporu X_C v určitém případě R_u (R_u též není konstantní – viz graf průběhu odporu R_u v závislosti na polaritě a velikosti přiloženého napětí na usměrňovači), a vliv kapacity nabývá vrchu, tu musíme volbou menšího R_s dosáhnout též zmenšení výsledné hodnoty kombinovaného odporu $(R_s + R_p') \parallel R_u$. Tím odsuneme vliv kapacity do snesitelných mezi. Kdybychom tak neučinili, pak by výchylka měřidla při stejném napětí (ale při různém kmitočtu) klesala od mezního kmitočtu. Graetzovo můstkové zapojení, kterého se poměrně nejčastěji používá, vede ke zdvojnásobení odporu R_u a ke zkomplikovaným poměrům kapacitním, takže je dosti důležité zjistit mezní kmitočet, při kterém výchylka měřidla má chybu nejvýše 1,5 %. Zpravidla žádáme od měřicího přístroje, aby vyhověl až do kmitočtu 10 000 Hz – tedy v oblasti tónových kmitočtů.

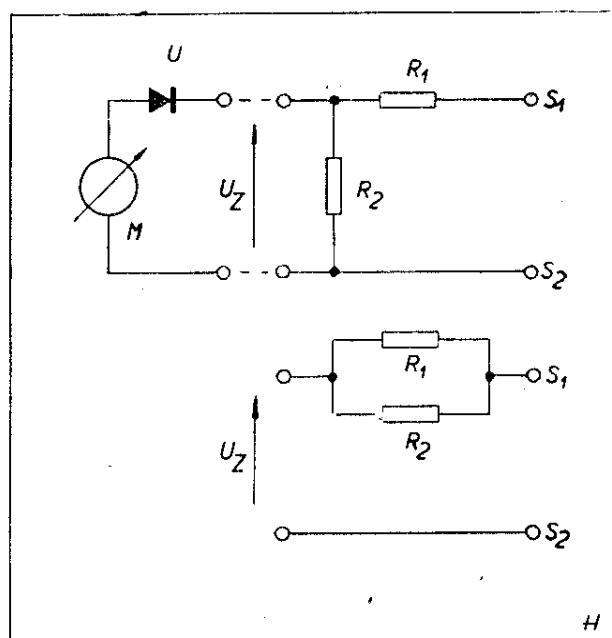
Jak z výše uvedeného vyplývá, setká-

váme se při návrhu měřicího přístroje u jednotlivých členů s protichůdnými požadavky. Tak třeba, chceme-li dosáhnout rovnoramenné stupnice, máme mimo jiné zvětšit R_s , na druhé straně však jej nemůžeme zvětšovat libovolně, protože jednak roste základní rozsah, jednak roste vlivem kapacity závislost na kmitočtu.

Též nesmíme zapomenout na teplotní závislost. Při oteplení klesá totiž výsledný odpor a výchylka přístroje stoupá. Proto též u továrních přístrojů je R_s vyroben z materiálu s takovým teplotním koeficientem, že nežádaný vliv kompenzuje. (Stačí i z měděného drátu, navržený ovšem tak, aby měl podobně probíhající teplotní změny jako usměrňovač, které se však projeví opačným účinkem).

Jak dále seznáme, není návrh měřidla pro střídavý proud početně obtížný, za to však choulostivý, neboť nutno volit střední cestu mezi všemi požadavky na dobré měřidlo kladenými; je třeba uvážit též pro jaký účel, v jakém rozsahu či jak často bude používán a podle závěru vyplývajícího z těchto otázek pak daný přístroj konstruovat.

V předchozích odstavcích jsme si odvodili, že průběh stupnice je mimo jiné určen velikostí odporu R_s . Když tedy budeme chtít rozšířit rozsah měřidla



Obr. 29.

nahoru, pak zvětšením odporu R_s bychom sice dosáhli zvětšení rozsahu, ale průběh stupnice by nám v žádném případě nesouhlasil s průběhem stupnice předchozí. Protože žádáme, aby přístroj měl společnou stupnicí pro více rozsahů; je třeba zajistit, aby hodnota odporu R_s byla stále stejná. (Výraz „společná stupnice“ znamená, že průběh stupnice je stejný pro všechny rozsahy, číselné označení odpovídá zpravidla nejnižšímu rozsahu společné stupnice a pro následující rozsahy vyšší dostaváme číselné hodnoty vynásobením koeficienty 10, 50, 100 a pod.).

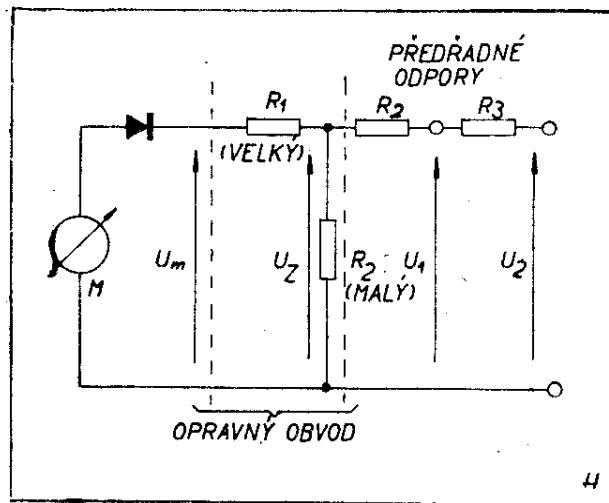
Stálost odporu R_s zajišťujeme běžně dvěma způsoby. Na obr. 29. je schematicky naznačeno měřidlo s usměrňovačem a k němu připinatelnou dvojicí, složenou z předřadného odporu R_1 a paralelního bočníku R_2 . Vedle toho vidíme náhradní elektrické schema, podle něhož si představujeme R_1 zapojen paralelně s R_2 . Bude-li tedy hodnota $R_1 \parallel R_2$ stále stejná a rovná navrženému R_s , pak pro každý rozsah vystačíme se společnou stupnicí. Hodnoty jednotlivých odporů pro požadovaný rozsah vypočteme z rovnic:

$$R_1 \parallel R_2 = R_s = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad [\Omega] \quad (19)$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot [U_i - R_1 \cdot Im'] = Um' \\ [\Omega, V, A] \quad (20)$$

kde Um' je základní výchylka měřidla, zvýšená o ztráty v usměrňovači, či případně základní rozsah upravený na okrouhlé číslo. (V případě, že používáme selenového usměrňovače, je toto zvýšení dokonce nutné, má-li usměrňovač rádně pracovat, neboť je méně citlivý než kuprox. Kuprox totiž usměrňuje napětí již od 0,2 V výše. Zpravidla však upravujeme základní výchylku na $0,5 \div 1$ V. Blížší ve statí usměrňovače). Ui je pak žádaný rozsah ve voltech.

Tento způsob zaručuje souhlas stupnice na všech rozsazích, přináší však určitou konstrukční složitost, neboť vyžaduje k přepínání dvojitý přepinač a pro každý rozsah dvojici přesně nastavených odporů.



Obr. 30.

Druhý způsob, který je též běžně používán, připouští určitou nepřesnost mezi průběhem nejnižšího a nejvyššího rozsahu. Je znázorněn na obr. 30. Dvojice odporů $R_1 + R_2$ představuje vlastní opravný obvod, zatím co odpor R_3 a případné odpory další již jen upravují základní rozsah na jeho násobek ($10 \times$, $50 \times$, $100 \times$ a pod.). Předpokládáme-li napětí měřeného zdroje dostatečně tvrdé, což znamená, že jeho vnitřní odpor bude nulový, pak je odpor R_s roven odporu R_1 , neboť R_2 je nulovým odporem zdroje zkratován při měření na nejnižším rozsahu. Připojíme-li pak předřadný odpor R_3 a případně další, pak hodnotu odporu R_s můžeme vyjádřit vztahem:

$$R_s = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3};$$

či případně

$$R_s = R_1 + R_2 \parallel (R_3 + R_4 + \dots).$$

Pro nejvyšší rozsah dosahuje součet hodnot předřadních odporů $R_3 + R_4 + \dots$ hodnoty řádově velmi veliké proti R_2 , takže se při paralelním zapojení téměř neuplatní. Z toho tedy vyplývá, že v tomto případě se R_s pohybuje mezi dvěma hodnotami, a to při nejnižším rozsahu je R_s rovný R_1 , při rozsahu nejvyšším je pak R_s rovný součtu hodnot R_1 a R_2 . Projevuje se tedy odpor R_2 jako přírůstek hodnoty R_s . Navrhne-li však R_1 pokud možno co největší a naopak hodnotu R_2 omezíme na minimum,

pak rozdíl bude malý a tím i změna průběhu stupnice. Je-li $R_{s\min} = R_1$ a $R_{s\max} = R_1 + R_2$, pak R_s bude roven aritmetickému průměru. Můžeme tedy psát:

$$R_s = (R_{s\min} + R_{s\max}) : 2 = R_1 + R_2 / 2 \quad (21)$$

a přírůstek hodnoty R_s

$$\Delta R_s = \pm R_2 / 2$$

Hodnoty R_1 , R_2 , R_u , R_s , ΔR_s , můžeme vyšetřit graficky z charakteristiky měřicího přístroje s usměrňovačem. Protože tuto charakteristiku ve většině případů neznáme a její zjištování je dosti pracné, nemělo by smyslu si zde odvozovat tyto hodnoty obecně.

Pro vlastní výpočet si potřebujeme ještě ujasnit pojem poměrné chyby stupnice a poměrné změny odporu v obvodu usměrňovače. Poměrná chyba stupnice Pd je vyjádřena zlomkem, v jehož čitateli je chyba, kterou má přístroj při jedné stupnici pro všechny rozsahy, mění-li se výstupní odpor R_s o ΔR_s a ve jmenovateli je I_m . Poměrnou změnu odporu Pr v obvodu usměrňovače pak vyjadřujeme zlomkem, kde v čitateli je ΔR_s a v jmenovateli součet $R_1 + R_s + \Delta R_s$. Oba vztahy pak souvisí spolu podle rovnice:

$$Pr = Pd \cdot \frac{Uz}{c} \quad (22)$$

ΔR_s pak lze vyjádřit ve vztahu k Pr podle výrazu:

$$\Delta R_s = (R_u + R_s) \cdot \frac{Pr}{1 - Pr} \quad (23)$$

Nyní již můžeme přistoupit k vlastnímu návrhu a výpočtu opravného obvodu měřidla na střídavý proud.

Použijeme měridla o základní výchylce $100 \mu A$; $0,35 V$ a $R_p = 3500 \Omega$ a chceme navrhnout voltmetr na střídavý proud o rozsazích: $6 V$; $60 V$; $300 V$; a $600 V$. Je tedy $Uz = 6 V$ a $I_m = 0,0001 A$. Pak ještě volíme činitel c , který udává odchylku charakteristiky usměrňovače od ideálního přímkového průběhu. Obvyklá hodnota činí $0,2 V$. Vypočteme nejprve velikost odporů R_u a R_s podle rovnice:

$$R_u + R_s = \frac{Uz}{I_m} [\Omega, V, A] \quad (24)$$

(kde I_m' je zvětšený proud s ohledem na ztráty o 10%), což po dosazení dává:

$$R_u + R_s = \frac{6}{0,00011} = 54550 \Omega.$$

Pak stanovíme velikost chyby Pd . Chceme, aby úchylka při společné stupnici nebyla větší než $\pm 0,2 \%$, t. j. $Pd = 0,002$. Z toho vyčíslíme Pr :

$$Pr = 0,002 \cdot 6,0 / 0,2 = 0,06$$

ΔR_s pak činí podle výše uvedené rovnice (23):

$$\Delta R_s = R_2 / 2 = 54550 \cdot 0,06 / 0,94 = \\ = 3485 \Omega.$$

Z toho $R_2 = 6970 \Omega$ a $R_1 = 54550 — 6970 = 47580 \Omega$. Tím je opravný obvod zhruba určen a zbývá vypočítat již jen předřadné odpory.

Víme již, že odporem R_1 protéká $0,11 mA$. Zjistíme si ještě, jaký proud protéká odporem R_2 . Podle rovnice:

$$Ir_2 = Uz / R_2$$

což dává po dosazení:

$$Ir_2 = 6,0 / 6970 = 0,000862 A$$

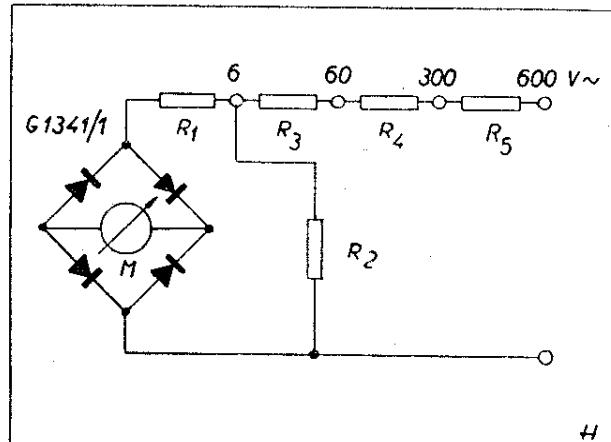
I_m' a Ir_2 dají výsledný proud Ik , t. j. $0,00011 + 0,000862 = 0,000972 A$.

Známe-li tuto hodnotu, pak ještě zjistíme vnitřní odpor měřicího přístroje jako celku ze vztahu: $Rv = 1/Ik = 1 / 0,000972 = 1030 \Omega$ na jeden volt. Velikosti jednotlivých předřadných odporů pak obdržíme dosazením do již dříve uvedeného vzorce: $Ri = (Un — U_{n-1}) / Rv$. Obdržíme tedy:

$$R_3 = (60 — 6) / 1030 = 55500 \Omega, \\ R_4 = (300 — 60) / 1030 = 247000 \Omega, \\ R_5 = (600 — 300) / 1030 = 309000 \Omega.$$

Tak známe již všechny hodnoty odporů a tím je výpočet střídavého voltmetu u konce. Zapojení tohoto měřicího přístroje vidíme na obr. 31. Tím, že jsme volili základní rozsah poměrně velký, obdržíme stupnici, která bude společná pro všechny rozsahy, za to však nebudem moci používat přístroje jako ampérmetru, neboť jeho základní rozsah je příliš velký a tak jednostranně vylučuje proudový rozsah.

Proud měříme totiž tak, že odpor R představuje pro nás sdružený bočník, na



Obr. 31.

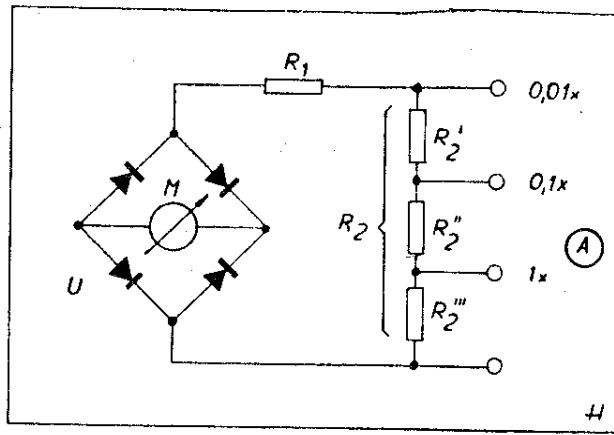
jehož odbočky (respektive jednotlivé odpory, na něž je rozdělen) přivádíme měřený proud (viz obr. 32). Je pochopitelné, že proud budeme vždy měřit na základním rozsahu, (asi 1,2 V), abychom měli spotřebu přístroje co nejmenší. Výpočet jednotlivých odboček provádíme podle rovnic (11) až (17).

Praktické příklady universálních měřidel

Na dalších řádkách popíšeme provedení malého přenosného měřidla pro stejnosměrný a střídavý proud, doplněného ještě ohmmetrem, a jako poslední konstrukci uvedeme návrh měřidla, které splňuje taktéž tyto funkce, zapojením sice složitějšího, obsluhovaného však pouze jediným přepinačem.

Zapojení měřidla vidíme na obr. 33. Jak je patrno, jedná se o stejnosměrný ampérmetr a voltmetr, doplněny usměrňovačem pro měření střídavého napětí a naposledy ještě ohmmetrem. Přístroj je skutečně kapesní, o čemž svědčí jeho rozměry: $130 \times 80 \times 35$ mm. Přepínání rozsahů provádíme připojováním šnúr do jednotlivých zdírek. Mimo tyto zdírky používáme v přístroji ještě dvou přepinačů P_1 a P_2 . Prvý nám obstarává přepnutí ze stejnosměrného rozsahu na střídavý, druhým přepínáme pro měření stejnosměrného napětí nebo proudu. Oba přepinače nejsou páčkové, ale nahrazují je vlastně přepínací zdírky (jacky). Přepínací zdírka „A“ je ještě doplněna dalšími kontakty, které získáme z výprodejního telefonářského relé.

Zdírka „A“, představující přepinač P_1 ,

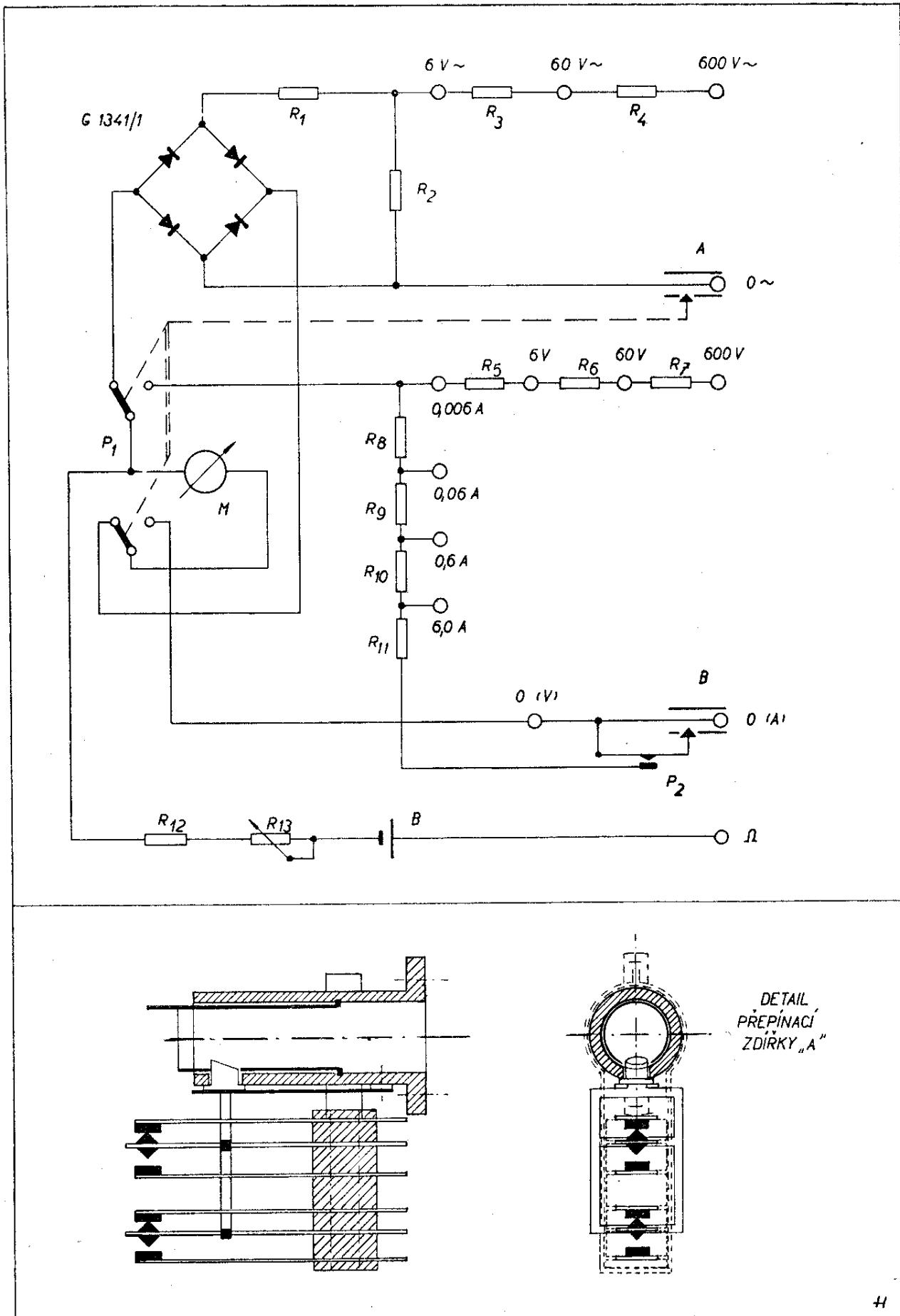


Obr. 32.

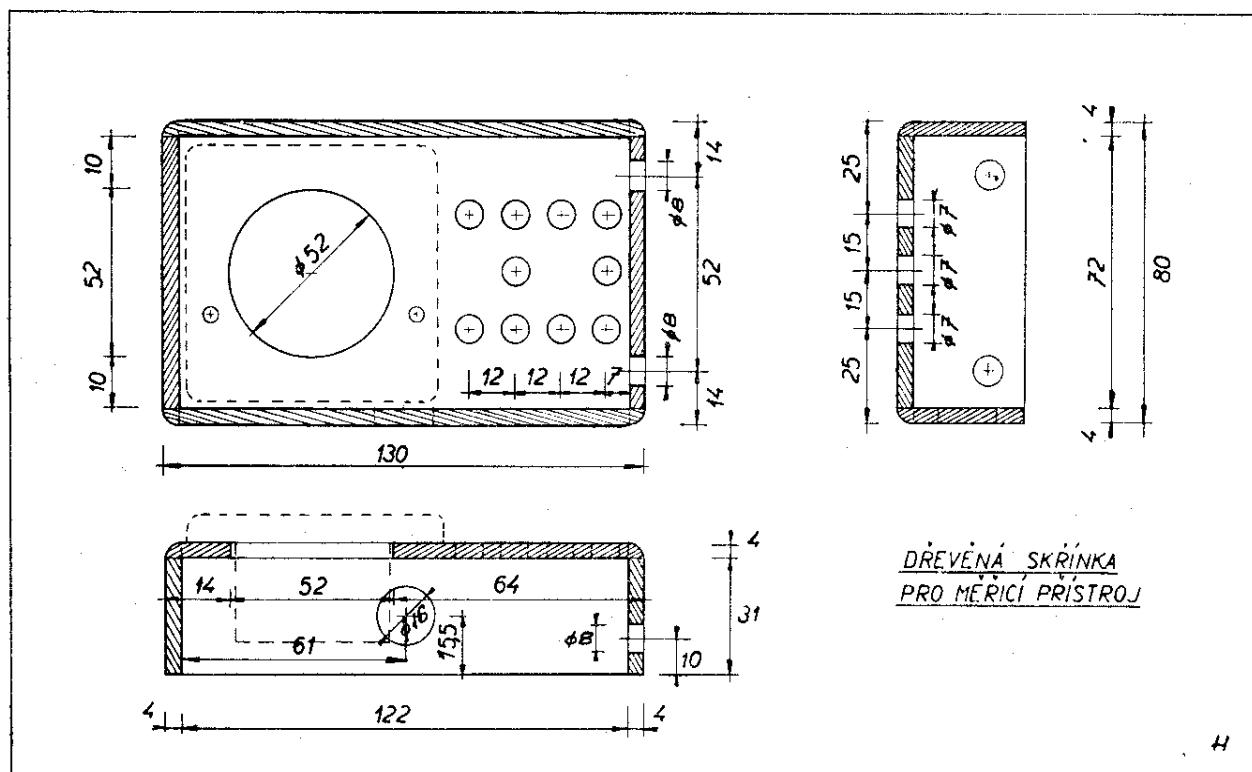
je v klidu sepnuta tak, že měřidlo je zapojeno přímo bez usměrňovače pro měření stejnosměrného proudu či napětí. Po zasunutí banánu přívodní šnúry odtlačí její mechanismus kontakty a připne měřidlo přes usměrňovač, takže nyní můžeme měřit napětí střídavá. Zdírkou „B“ pak přepínáme pouze stejnosměrný rozsah a to pro měření proudu či napětí. Celý postup použití jednotlivých zdírek je dobře patrný ze schematicu na obr. 33, kde jednotlivé zdírky jsou jasně označeny, pro který druh napětí či proudu jich použijeme. To se týká hlavně zdírek pro „nulové“ vodiče.

Vidíme tedy, že říkáme-li, že v přístroji používáme dvou přepinačů, je to trochu přehnané, neboť navenek nic nezprazduje tyto součástky, které jsou vlastně jen přepínacími zdírkami. Jednu tuto zdírku máme schematicky znázorněnu na obr. 33 dole. Z uvedeného je jasné patrný mechanismus přepínání. Zasunutím kolíku banánu je odtlačován malý pohyblivý kužel, který nese na své vnější rozšířené části odisolovaný třmen. Po zasunutí banánu změní se tedy poloha třmenu a tím i tedy poloha jím unášených středních per, která jsou takto sepnuta do nové polohy.

Na dalším obrázku č. 34 vidíme rozměry malé skřínky, do které byl celý přístroj vestavěn. Máme zde vyznačeny hlavní rozměry a velikosti a polohy hlavních otvorů. Skřínka je vyrobena ze čtyřmilimetrové překližky, která je v rozích pro větší pevnost pečlivě zazubena a zaklížena. Výroba samotné skřínky není zvláště pracná, vyžaduje



Obr. 33.

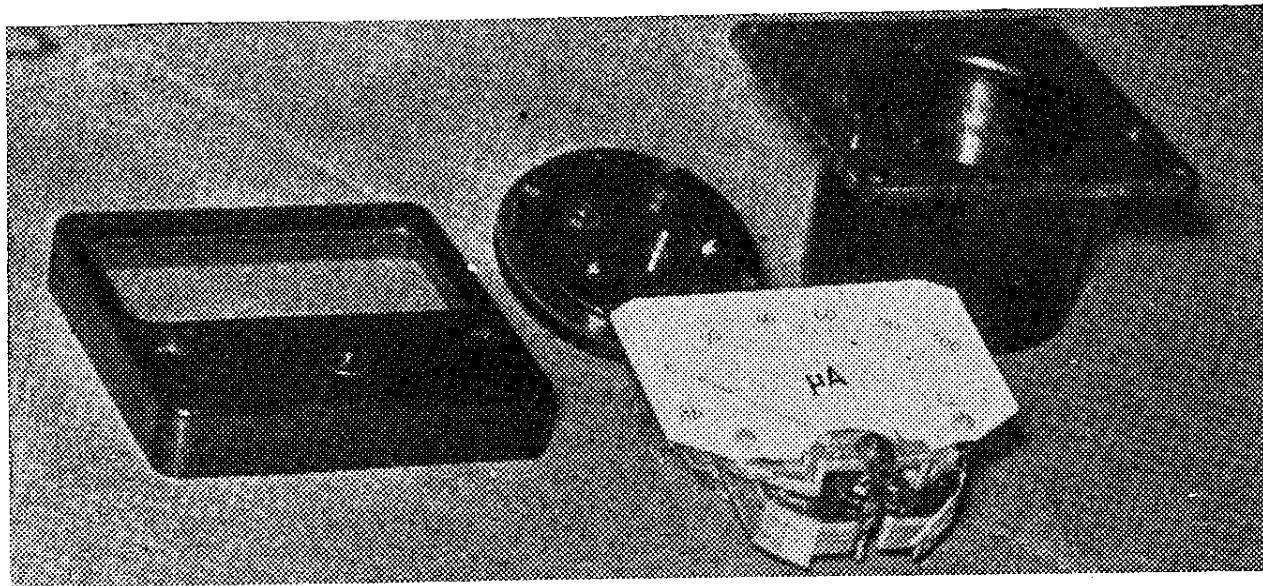


Obr. 34.

jen trochu trpělivosti při vyřezávání zubů a jejich vzájemném přizpůsobení. Po zaklázení napustíme jí horkým fermežovým lakem a zbrousíme skelným pápírem. Po vyvrtání všech děr vyzkoušíme, zda všechny součásti jdou lehce v hotové skřínce umístit a pak, ještě před elektrickou montáží, dáme celou skřínku nastříkat lakem, nejlépe krystalovým. Tím se postaráme o líbivý vzhled našeho výrobku.

Na II. str. obálky máme vykresleno ve větším měřítku schematické rozmištění součástí. V pravé polovině skřínky nahoře a dole jsou umístěny přepínací zdířky „A“ a „B“, mezi nimi je pak umístěno zbývajících deset obyčejných zdírek. Vedle měřidla připevníme usměrňovač jedním šroubkem, jehož kuželovou hlavici zapustíme do povrchu skřínky. Měřidlo samo je připevněno dvěma šroubkami M3. Jejich otvory nejsou na obr. č. 34. vykótovány, neboť se pravděpodobně budou lišit podle toho, jakého měřicího přístroje užijeme. V našem případě jsme použili standardního měřidla o základní výchylce $100 \mu\text{A}$, které vidíme na uvedené fotografii. Mě-

řidlo samo, tak jak se nám dostává do rukou, je pro naše účely příliš rozměrné, t. zn. v našem případě je příliš hluboké. Na otištěné fotografii vidíme, že celé měřidlo sestává ze čtyř částí: je to hlavně v první řadě měřicí systém se stupnicí, dále válcový bakelitový kryt se čtvercovou nosnou deskou, další částí je zasklené víčko se šroubem pro regulaci nuly a poslední částí je kulatý uzávěr. Jak jsme již uvedli, byl pro naše účely měřicí přístroj příliš hluboký. Válcová část bakelitového obalu je rozdělena ve dva oddíly, z nichž přední chrání měřicí systém proti prachu a druhý představuje prostor pro vestavění eventuálního bočníku či předřadného odporu. O tento prostor snížíme hloubku měřidla tím, že jej jednoduše odřízneme ostrou pilkou a celý spodek zbrousíme do roviny. Po této úpravě měřidlo zas sestavíme. Tímto zásahem získáme prostor o výšce 15 mm, který se nám znamenitě hodí, neboť do něj umístíme držák pro baterii. Držák vidíme na II. str. obálky. Na témaže obrázku si též všimneme malého potenciometru R_{18} , jímž vyrovnáváme stárnutí baterie. Jeho osičku značně

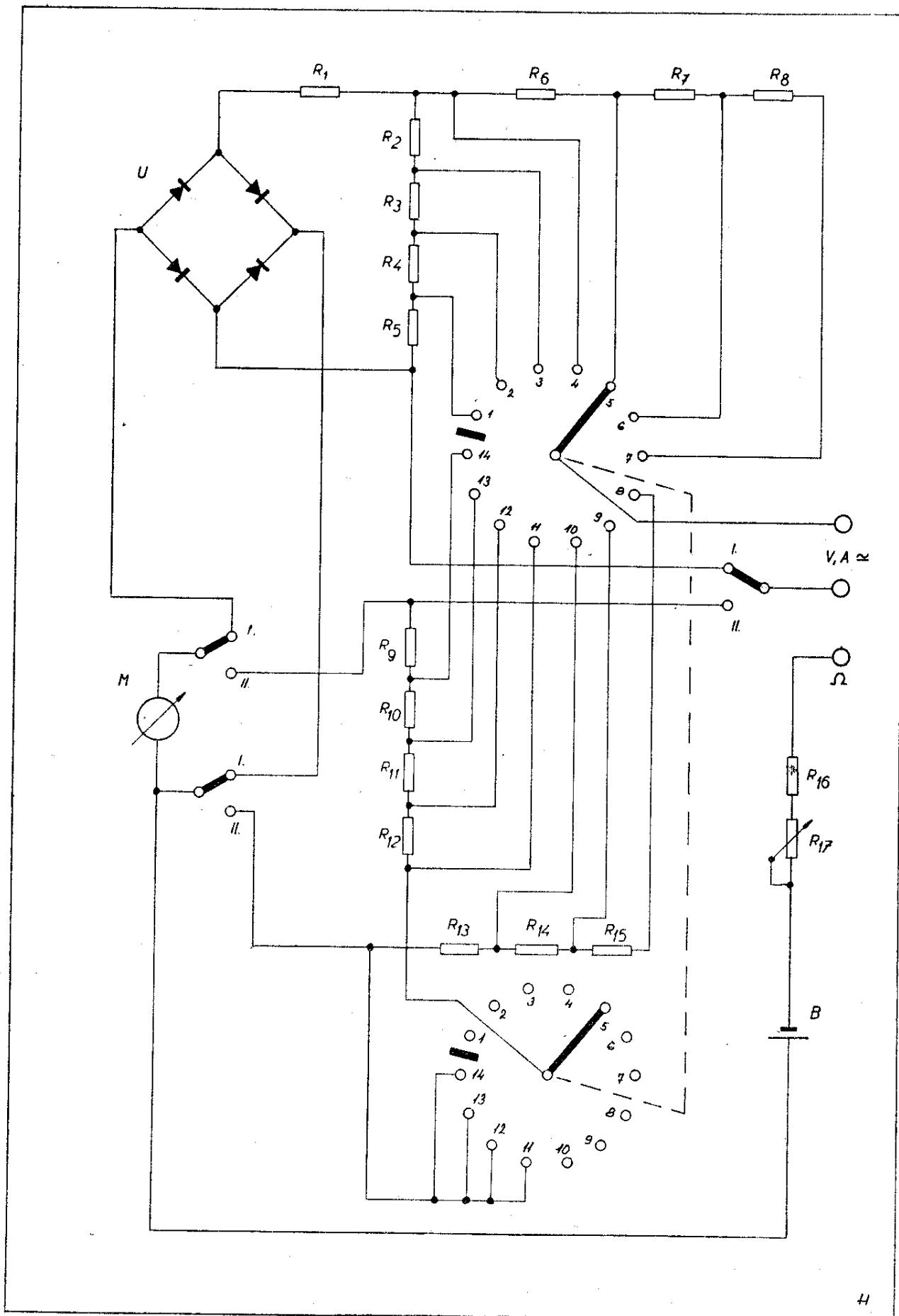


zkrátíme a nasadíme na ni malý hliníkový kotouč o průměru 16 mm, který opatříme takovým zárezem, jaký mívají šrouby. Tím dosáhneme toho, že z měřidla nám nevyčnívají žádné překázející výstupky. Hliníkový kotouč připevníme na osičku potenciometru pouhým naražením. Na schématu si též všimneme nezvyklého rozměru baterie. Není to totiž obvyklý 1,5 voltový článek, jakého se používá pro kulaté svítlinky. Byl by totiž pro dané rozměry příliš veliký, a proto jsme použili miniaturního monochlánku, který svými rozměry pro naše účely velmi dobře vyhovuje.

Nyní k vlastnímu zapojení měřicího přístroje. Jako usměrňovače bylo použito typu G 1341/1, měřidlo pak má základní hodnotu $100 \mu\text{A}$; $0,35 \text{ V}$ a R_p' rovná se 3500 ohmů . Hodnoty použitých odporů jsou dále uvedeny v tabulce:

R_1	$=$	$47\ 580 \Omega$
R_2	$=$	$6\ 970 \Omega$
R_3	$=$	$55\ 500 \Omega$
R_4	$=$	$555\ 000 \Omega$
R_5	$=$	$56\ 500 \Omega$
R_6	$=$	$540\ 000 \Omega$
R_7	$=$	$5\ 400\ 000 \Omega$
R_8	$=$	630Ω
R_9	$=$	63Ω
R_{10}	$=$	$6,3 \Omega$
R_{11}	$=$	$0,7 \Omega$
R_{12}	$=$	$8\ 500 \Omega$
R_{13}	$=$	$1000 \div 3000 \Omega$

Posledním popisovaným přístrojem je měřidlo, jehož schema vidíme na obr. 35. Tento přístroj je určen pro měření proudů a napětí jak stejnosměrných, tak i střídavých. Přepínáním jednotlivých rozsahů provádíme zde dvojitým robustním přepinačem, který má celkem čtrnáct poloh. Odpadá zde tedy poměrně zdlouhavější přepínání přívodních šnúr, neboť vstupní zdírky pro měření napětí a proudu jsou jenom dvě. Třetí zdírka pak slouží jen pro ohmmetr. Druhý třípolový přepinač s dvěma polohami slouží pro přepínání měření střídavých či stejnosměrných. Neobsahuje ho zvláště, ale je přepínán hlavním přepinačem. Poloha přepinače 1 \div 7 je pro měření střídavá, zbývající polohy 7 \div 14 pro měření stejnosměrná. Míjí-li tedy hlavní přepinač polohu 7 a přichází do polohy 8, tu přepne druhý přepinač z polohy I do polohy II. V opačném směru točení probíhá přepínání pochopitelně též opačně. Vlastní mechanické spojení obou přepinačů je velmi jednoduché. Z osy hlavního přepinače vybíhá malý kousek páskového železa, takže celek připomíná svým tvarem obyčejný klíč. Tento výběžek zapadá v sedmé (neb osmé) poloze do rozšířené páčky druhého přepinače. Tato páčka má totiž tvar písmene V a tudíž opře-li se při přepínání o její jednu vnitřní stranu klíčovitý výběžek, tu se téměř současně přepne i druhý přepinač. Je jasné, že otáčení hlavního přepinače nemůže probíhat stále stejným směrem, ale že pře-



Obr. 35.

pinač se musí zase vracet obráceným směrem, má-li dojít ke zpětnému přepnutí druhého přepinače. Aby bylo zamězeno otáčení hlavního přepinače stále jedním směrem a tím eventuální poruše mechanického zařízení, je mezi polohou 1 a 14 vsazena malá zarázka, která brání přetáčení. Hotový přepinač funguje zcela dobře, jen se musíme smířit s tím, že je poněkud objemnější. Tento objem přepinače je vskutku pro konstrukci poněkud nežádoucí, a proto byl přepinač v hotovém výrobku umístěn na boku skřínky a nikoliv na horní desce, jak tomu obyčejně bývá. Stalo se tak proto, že rozdíl výšky přepinače ve směru jeho osy je příliš veliký a tak při obvyklém osazení bychom dostali skřínku měřidla příliš velikou a celkem nehezkých poměrů stran. Abychom však měli snadnou orientaci, na jakém rozsahu právě měříme, nese osa hlavního přepinače hliníkový bubínek, na jehož obvodu jsou naznačeny jednotlivé polohy. V horní desce skřínky měřidla je pak vyříznut čtvercový otvor, jímž vidíme obvod bubínku a na něm vyznačenou polohu měření.

A nyní k jednotlivým polohám přepinače. V následující tabulce máme znázorněno, pro jaký druh napětí či proudu a jaké velikosti slouží jednotlivé polohy.

Jak z uvedeného vyplývá, ohmy měříme jen v poloze 8 až 10. V poloze 11 až 14 bychom nedostali plnou výhylku vzhledem k připojení bočníku $R_9 \div R_{12}$, bylo by však možno upravit též R_{16} a měřit tak odpory menších hodnot. Původní ohnická stupnice by však musela být násobena nějakým koeficientem, anebo bychom přístroj mohli doplnit ještě další stupnicí.

V přístroji jsme opět použili usměrňovače G 1341/1 a měřidla o základní výhylce 100 μA . Používáme tohoto měřidla úmyslně, jak si jistě pozorný čtenář všiml, neboť toto měřidlo je k dostání na našem trhu a tak uvedené návody se dají aplikovat bez nějakých úprav či pracného přepočítávání jednotlivých odporů.

hlavního přepi- nače	druhého přepi- nače	stejno- smerné	Měření	
			střídavé	ohnické
1	I	—	0,6 A	—
2	I	—	0,06 A	—
3	I	—	0,006 A	—
4	I	—	(0,00071 A) 1,2 V	—
5	I	—	6 V	—
6	I	—	60 V	—
7	I	—	600 V	—
8	II	600 V	—	Ω
9	II	60 V	—	Ω
10	II	6 V	—	Ω
11	II	0,0006 A	—	—
12	II	0,006 A	—	—
13	II	0,06 A	—	—
14	II	0,6 A	—	—

Nakonec uvedeme ještě hodnoty použitých odporů:

$R_1 = 8900 \Omega$	$R_{10} = 6,3 \Omega$
$R_2 = 1760 \Omega$	$R_{11} = 63 \Omega$
$R_3 = 216 \Omega$	$R_{12} = 630 \Omega$
$R_4 = 21,6 \Omega$	$R_{13} = 56500 \Omega$
$R_5 = 2,4 \Omega$	$R_{14} = 540000 \Omega$
$R_6 = 6750 \Omega$	$R_{15} = 5400000 \Omega$
$R_7 = 76000 \Omega$	$R_{16} = 8500 \Omega$
$R_8 = 7600000 \Omega$	$R_{17} = 300 \div 500 \Omega$
$R_9 = 0,7 \Omega$	(pro $B = 1,5 \text{ V}$)

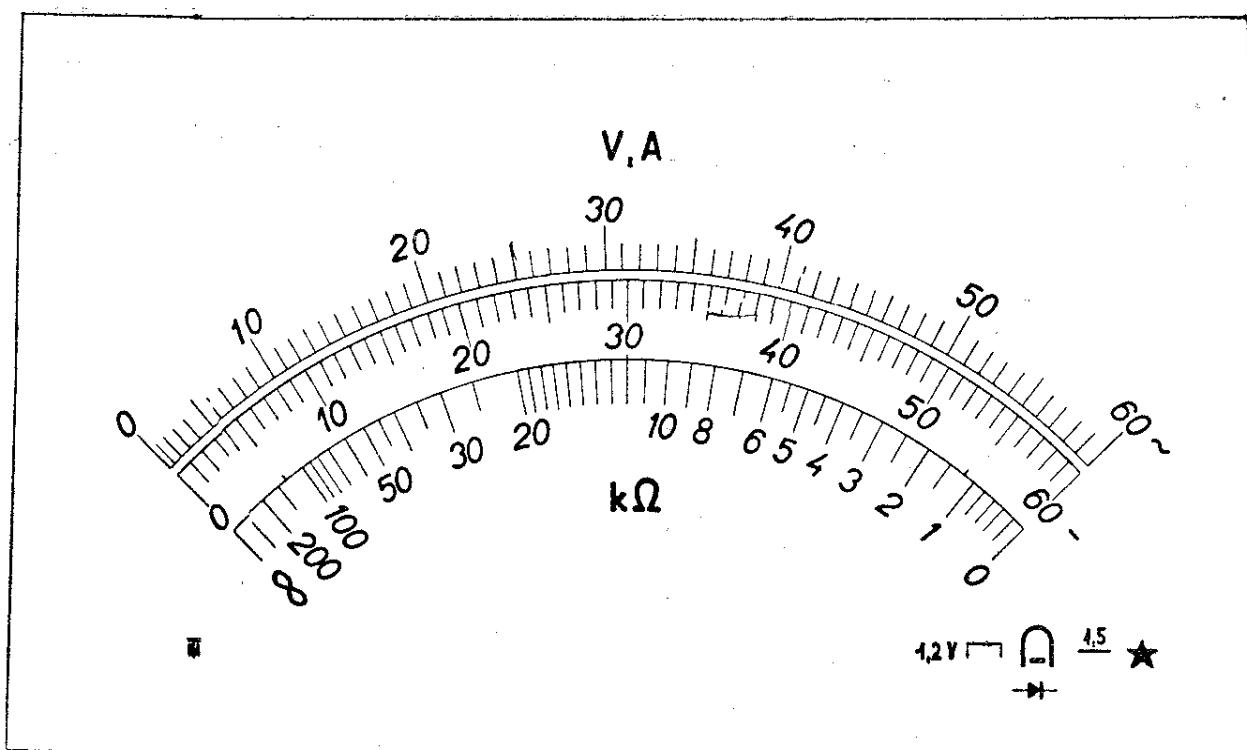
Vnitřní odpor tohoto měřidla je při měření střídavých napětí 1410 ohmů na volt, při měření stejnosměrném 10 000 ohmů na volt. Ztráta při měření proudu činí 1,2 voltu na st rozsahu a na stejnosměrném 0,35 voltu. Pro střídavý rozsah 1,2 voltu máme zvlášť cejchovanou stupnici, pro další rozsahy platí již stupnice jedna, společná, s chybou asi 1,5 %. Cejchování provádíme na šedesátivoltovém rozsahu, takže odchylka bude při měření vyšším či nižším prakticky stejná, ale opačného znaménka. Pro stejnosměrné rozsahy pak máme již jen jednu společnou stupnici a poslední stupnice slouží k měření velikosti odporů v ohmech. Jako vzor nám může sloužit stupnice uvedená na obr. 36, která platí pro předchozí přístroj. Stupnici můžeme též podložit zrcadélkem, které nám usnadňuje správné čtení.

Výroba a úprava stupnic k měřicím přístrojům.

Při konstrukci měřicích přístrojů často použijeme měřidel, jejichž původní stupnice nebude vyhovovat pro naše účely, a to ať již svým dělením nebo

svou velikostí. Pak jsme nutni zhotovit novou a úhlednou stupnici.

K měřicímu přístroji připevníme provisorní stupnici, na níž označíme krajin dílky, zjistíme přesnou polohu středu ručky a nakreslíme část kružnice. Při tom též dbáme, aby střed výseku kružnice se přesně ztotožňoval se středem otáčení ukazatele. Pak provedeme cejchování přístroje, a to tak, že přepínáme měřidlo na jednotlivé rozsahy a zjištujeme a označujeme si hlavní body. Označování provádíme ostrou tužkou. Máme-li již provisorní stupnici úplnou sejmeme tuto z přístroje. Pak ji připevníme na rýsovací prkno, překryjeme dostatečně velkým kusem průsvitného papíru a promítáním jednotlivých dílků ze středu otáčení ručky nakreslíme novou stupnici několikrátě větší. Tuto pak čistě vytáhneme černou, neředěnou tuší a dílky podle potřeby rozdělíme na menší, t. j. poloviny, pětiny či desetiny, při čemž dbáme zákonitosti průběhu (tak ku př. u ohmmetu dbáme, aby průběh střední části byl zhruba logaritmický). Popis provádíme stojatou šablonkou takové velikosti, aby jednotlivé číslice byly po zmenšení dobře čitelné.



Obr. 36.

telné, t. zn., aby jejich výška činila alespoň 1,5 mm. Slabě označíme též středy upevňovacích šroubků, dále nakreslíme obrys stupnice a nakonec ještě označíme stupnici příslušnými značkami (viz str. IV). Tím jsme tedy s kreslířskou prací hotovi.

Hotový výkres nyní ofotografujeme a zmenšíme. Tímto způsobem totiž dostaneme velmi přesnou a úhlednou stupnici, jaké bychom přímým kreslením běžnými prostředky povětšině nedosáhli.

Hotový výkres na pauzovacím papíře přichytíme lepicí páskou na vnitřní okno a proti němu umístíme deskový fotografický aparát. Též je možno (rysujeme-li stupnici na kladívkový papír) stupnici připevnit na rovné prkno a tak ji ofotografovat, musíme však při tom dbát, aby byla rádně osvětlena vhodně umístěnými postranními reflektory. Při tom je důležité zajistit, aby celý výkres byl stejnoměrně osvětlen a aby objektiv aparátu nebyl zasažen eventuálními odrazy. Také je nutno zajistit, aby výkres se stupnicí byl rovnoměrně napnut a nebyl nikterak zvlněn. V místech zvlnění bychom totiž dostali neostrá, případně nečitelná místa.

Abychom dostali na matnici fotografického přístroje obrázek ve správné velikosti (pro tyto účely se totiž nejlépe hodí deskový přístroj), nakreslíme si na ni osový kříž s třemi průsečíky, určujícími skutečnou velikost stupnice. Jeden průsečík označuje střed stupnice, ostatní dva koncové výchylky na základní kruhové čáře. Pak zaostříme a seřídíme aparát tak, aby obrázek obrysu stupnice a výše uvedené body se ztotožňovaly s nakreslenými průsečíky. Tím též zajišťujeme kolmost optické osy aparátu k rovině výkresu a tudíž i neskreslený obrázek.

Do kasy aparátu není třeba vkládat desku, neboť vystačíme i s obyčejným kontaktním papírem, či případně použijeme zvláště tvrdého, aby obrázek byl kontrastní. Exposici si pochopitelně vykoušíme na několika proužcích papíru. Zpravidla se pohybuje asi kolem 1 minuty, ale záleží na intensitě osvětlení, velikosti stupnice a tím i na vzdálenosti od přístroje, na citlivosti papíru či desky

a pod. Ze získaného papírového negativu pak normálním kopírováním na stejný papír zhotovíme i žádaný positiv. Je samozřejmé, že příliš velká stupnice by se nám mnohdy na danou velikost desky nevešla. Tu pak se celá operace prodlouží o proces zmenšování, kde zvětšovacím přístrojem (kterým je možno i zmenšovat) si nařídíme žádanou velikost vyráběné stupnice. Použití fotografického papíru má tu výhodu proti kreslicímu, že je bělejší a hlavně že nezloutne, musíme jej však velmi dobře ustálit.

Příliš velké výkresy stupnic, u nichž bychom nemohli vyrovnat zvlnění papíru napnutím, fotografují se tak, že se položí na desku, a příkryjí větší skleněnou tabulí, která musí být pochopitelně čistá. Tuto tabuli pak osvětlíme větším množstvím matových žárovek, při čemž opět dbáme, aby rozptyl světla byl co nejvynoměrnější. Ukázky takto vyrobených stupnic vidíme na obr. 36.

S výrobou stupnic či hlavně s výrobou větších stupnic, než byly původní, souvisí též otázka výroby ručkových ukazatelů. Jak bylo na začátku tohoto čísla poznamenáno, lze jednoduchý ukazatel vyrobit ze silonových vláken. Nepodařilo se však obstarat delší vlákna než 5 cm a tak nezbylo, než volit jiný způsob. Pokusil jsem se o výrobu hliníkového ukazatele protahováním. Tento způsob byl již svého času popsán v Radioamatérku, protože se však osvědčil, považujeme za nutné jej zde zopakovat.

Pásek vhodné folie odřízneme velmi přesně na př. holicí čepelkou podle ocelového pravítka na šíři, rovnou obvodu budoucího profilu trubky. Délku folie volíme asi o 10 % větší než bude délka hotové ručky. Tato folie se pak protahuje postupně menšími průvlaky, čímž se zaoblí, až získáme žádaný průměr. Protahovací průvlaky si vyvrtáme v odpadku plechu o síle asi 3 mm a jejich průměr vhodně odstupňujeme až na nejmenší míru, kterou budeme potřebovat. Hranu průvlaku srazíme širším vrtákem a potom ještě velmi jemně ručně vyhladíme. Toto sražení, přípravek s průvlaky a postup výroby z trubiček, to vše je patrně na dálce připojeném vyobrazení.

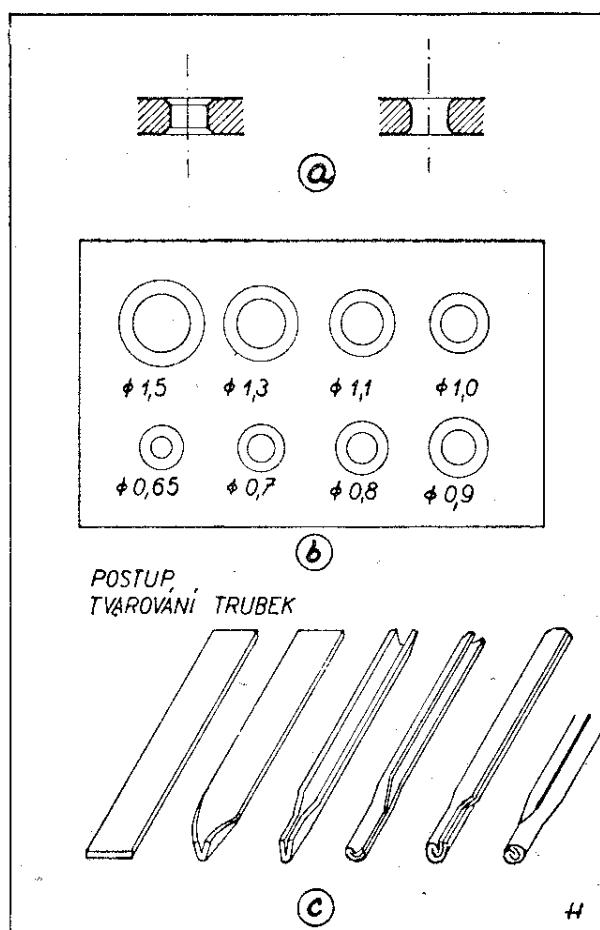
Pásek, z něhož chceme dělat trubičku, na konci po délce přeložíme, aby zúžený konec prošel nejšířím průvlakem, pak jej uchopíme do kleští a táhneme nepříliš velkou rychlostí. Přípravek s průvlaky upevňujeme ve svéráku nebo jej držíme v ruce, čímž získáme lepší cit pro tuto práci. Snažíme se táhnout rovnoměrně a hlavně kolmo na přípravek. Po prvém tahu je pásek částečně zformován, ale je ještě otevřen. Pak zmačkneme konec ještě více, po případě chceme-li vyrobit trubičku dosti silnou a je-li folie dostatečně široká, ještě jednou přeložíme a protahujeme menším průvlakem. Toto protahování opakujeme, až se dostaneme na žádaný průměr. Zahrocený konec, který jsme drželi v kleštích, odstřihneme, neboť jednak by byla trubička příliš dlouhá, a jednak tento konec je vždy trochu poškozen od zubatých čelistí kleští.

Tímto způsobem lze tedy vyrobit trubičky z folií nebo z tenkých plechů, a to ať již hliníkových, zinkových, měděných, mosazných a jiných. Prvé pokusy se vši pravděpodobností nedopadnou zvláště vzhledně, ale po krátké praxi se daří velmi dobře, ručky jsou rovné, pevné a velmi vzhledné.

Šev ve styku krajů je velmi nepatrny. Konec trubky upravíme na nožový tvar opatrným a jemným sklepáním kladívkem. Tento konec je rovný a v jednom směru je velmi citlivý na ohyb. Proto tuto operaci provádíme až nakonec, t. j. těsně před připevněním měřicího systému. Hrany nožové části ručky opatrně zbrousíme do roviny a horní hranu nožíku natřeme červeným lakem pro lepší viditelnost. Ručku pak připevníme k měřidlu na místo staré ručky zakápnutím rychleschnoucího acetono-

vého laku; ručku jsme předtím opatrně odstříhli. Po připevnění ručky pak ještě celý systém vyvážíme a tím je naše práce skončena.

Na obr. 37a vidíme řez otvorem průvlaku po navrtání a vyhlazení. Obr. 37b znázorňuje přípravek s průvlaky pro průměr trubičky 0,65 mm silné. Na obr. 37c je pak znázorněn postup přetváření proužku folie v kapilární trubičku a úprava konce vyráběné trubičky do průvlaku.



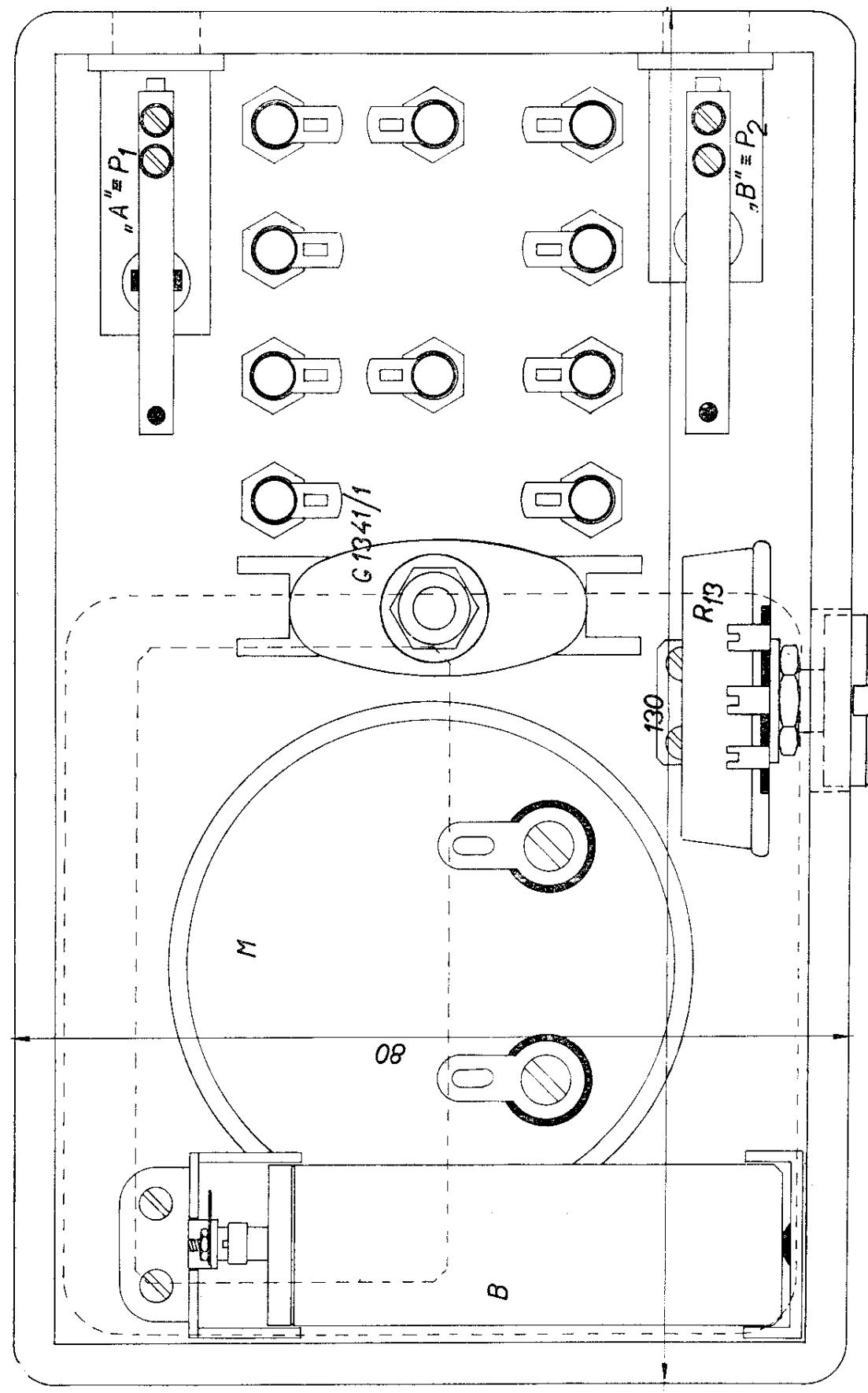
Obr. 37.

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR SVAZARMU, návody a plánky Amatérského radia. Vydává Svatý pro spolupráci s armádou v NAŠEM VOJSKU, vydavatelství, n. p., Praha, redakce Praha I, Národní tř. 25 (Metro), Telefon 23-30-27. Rídí František SMOLIK s redakčním kruhem (Josef ČERNÝ, Vladimír DANCÍK, Antonín HÁLEK, Ing. Miroslav HAVLÍČEK, Karel KRBEČK, Arnošt LAVANTE, Ing. Jan NAVRÁTIL, Václav NEDVĚD, Ing. Oto PETRÁČEK, Josef POHANKA, laureát státní ceny, Antonín RAMBOUSEK, Josef SEDLÁČEK, mistr radioamatérského sportu a nositel odznaku „Za občákovou práci“, Josef STEHLÍK, mistr radioamatérského sportu, Aleš SOUKUP, Vlastislav SVOBODA, laureát státní ceny, Jan ŠIMA, mistr radioamatérského sportu, Zdeněk ŠKODA, Ladislav ZÝKA). Administrace NAŠE VOJSKO, n. p., distribuce, Praha II, Vladislavova 26, telefon 22-12-46, 23-76-46. Vychází měsíčně, ročně vyjde 10 čísel. Cena jednotlivého čísla 3,50 Kčs, předplatné na půl roku 17,50 Kčs. Rozšiřuje Poštovní novinová služba. Objednávky přijímá každý poštovní úřad i doručovatel. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., Praha. Otisk povolen jen s písemným svolením vydavatele. Příspěvky redakce vrací, jen byly-li vyžádány a byla-li přiložena frankovaná obálka se zpětnou adresou.

Za původnost a veškerá práva ručí autoré příspěvků. Toto číslo vyšlo 10. října 1956.

H

SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTÍ MĚŘICHO PŘÍSTROJE



Značky na měřicích přístrojích.

Dostane-li se nám do rukou měřicí přístroj tovární výroby, vždy na stupnici najdeme určité značky, které máme nakreslené na připojeném obrázku. Jsou očíslovány pořadovými čísly 1–32 a jejich význam je dále uveden. Tyto značky jednoznačně určují druh měřicího přístroje, po případě dávají poučení o použití. Charakterisují tedy typy měřicích přístrojů, a proto lze jen doporučit, abychom jimi označovali i domácne vyráběné stupnice.

1. přístroj s otočnou cívkou – soustava Deprèz d'Arsonval
2. soustava s otočnými cívkami zkříženými
3. přístroj elektromagnetický – plíškový
4. přístroj elektromagnetický dvojitý (poměrový)
5. přístroj indukční
6. přístroj indukční poměrový
7. přístroj elektrodynamický
8. přístroj elektrodynamický, stíněný
9. izolovaný thermoelektrický článek s přístrojem s otočnou cívkou
10. přístroj žárový
11. přístroj elektrodynamický se zkříženými cívkami
12. přístroj elektrodynamický se zkříženými cívkami, stíněný
13. přístroj elektrostatický
14. přístroj vibrační
15. thermoelektrický článek všeobecně
16. thermoelektrický článek s přístrojem s otočnou cívkou
17. izolovaný thermoelektrický článek
18. usměrňovací článek
19. značka pro stínění
20. usměrňovač s přístrojem s otočnou cívkou
21. značka pro stejnosměrný proud
22. značka pro střídavý proud
23. značka pro měřidlo universální na oba druhy proudu
24. třífázový měřicí přístroj s jedním měřicím systémem
25. třífázový měř. př. s dvěma měřicími systémy
26. třífázový měř. př. s třemi měřicími systémy
27. přístroj je určen pro používání ve svislé poloze
28. přístroj je určen pro používání v poloze vodorovné

29. přístroj je určen pro používání v poloze šikmé
30. šikmá poloha pro použití s údajem sklonu ve stupních
31. nastavení nuly
32. značka zkušebního napětí

Norma rozděluje elektrické měřicí přístroje co do přesnosti do tříd, označených hodnotou nejvyšší přípustné chyby v procentech. Tyto třídy jsou: 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; některá z těchto čísel bez dalšího označení nacházíme po straně na stupnici každého dobrého měřicího přístroje. Číslo však neznamená největší chybu, jakou přístroj smí mít, nýbrž tolik chybu působenou jediným vlivem (cejchování, teplota, kmitočet atd.), takže celková chyba může být i větší. Na př. chyba stupnice smí být při teplotě 20 °C právě tolik procent z plné hodnoty stupnice, kolik udává třída přístroje. Změna teploty o ± 10 % smí způsobit tak velkou procentní odchylku údaje (nikoliv konečné hodnoty stupnice), kolik udává třída přístroje. Podobně změna kmitočtu o ± 10 %, změna napětí u elektroměrů a pod. Cizí magnetické pole téhož druhu a kmitočtu jako měřená hodnota, nejnepříznivějšího směru a fáze, smí působit u přístrojů s otočnou cívkou ± 1,5 %, u jiných nejvýš 3 % odchylky údaje.

Použití v jiné poloze, než udává značka na přístroji, smí při změně o ± 5 % změnit údaj o tolik procent z konečné výhylky, kolik udává třída přístroje. Příslušná norma udává ještě další podrobnosti, avšak ty jako příliš speciální zde neuvádíme.

Poslední znak, pěticípá hvězdička červená nebo černá bez připsaného čísla znamená, že přístroj byl zkoušen napětím 500 voltů (t. j. systém přístroje proti kostře, resp. proti stínění, je-li skřínka přístroje z isolantu). Nacházíme-li vedle hvězdičky připsané číslo, znamená to, že byl tento zkoušen na vyšší napětí. Další stupně jsou: 2000 voltů pro přístroje do 650 V; 3000 V — 1000 V; 5000 V — 1500 V; 10 000 V — 3000 V; 20 000 V — 6000 V; 30 000 V — 10 000 V; 50 000 V — 15 000 V a 2,2 × (napětí provozní) + 20 000 V pro dané napětí provozní. Zkušební napětí tedy nám udávají čísla, nacházející se vedle hvězdičky a znamenají tisíce voltů — pro 2000 V je číslo 2 atd.

ZNAČKY NA MĚŘICÍCH PŘÍSTROJÍCH

1	5	9	13	17	21	25	29
2	6	10	14	18	22	26	30
3	7	11	15	19	23	27	31
4	8	12	16	20	24	28	32